

PENGENDALIAN PROSES – I

IR. M. YUSUF RITONGA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA

PENDAHULUAN

Cara yang paling efektif mempelajari suatu ilmu selayaknya dimulai dengan mempelajari falsafah dasarnya. Kemudian baru mulai mempelajari bagian – bagian rinci. Dengan cara ini, walaupun ada satu atau beberapa bagian yang terlupakan, kita akan dengan mudah membuka respon dan mengulangi apa yang kita butuhkan. Kegagalan seseorang dalam mempelajari suatu ilmu sering kali disebabkan karena ia gagal menghayati falsafah ilmu tersebut. Ia gagal mendapat kerangka dasar ilmu tersebut

Oleh karena itu, buku ini mencoba menanam falsafah dasar ilmu sebelum mulai pokok bahasan. Di dalam buku ini juga diturunkan persamaan dasar suatu sistem pengendalian proses yang sederhana untuk mempermudah pemahaman falsafah dasar pengendalian proses.

Bagi mereka yang telah memahami sedikit ilmu sistem pengendalian proses penurunan persamaan suatu sistem pengendalian proses, mungkin sedikit berlebihan. Kalau benar begitu, tinggal saja bagian yang dirasakan kurang perlu. Bagi yang masih awam falsafah dasar ini sangat membantu dalam memahami arah pembahasan pada isi buku ini.

APAKAH SISTEM PENGENDALIAN PROSES ITU ?

Kata “Sistem Pengendalian Proses” adalah terjemahan dari kata proses control system. Walaupun ketiga suku kata tersebut, proses, pengendalian dan sistem, biasa dipakai secara umum, namun gabungan ketiga suku kata ini lebih mempunyai sebagai kata majemuk yang sifatnya spesifik teknik. Bagi mereka yang pernah belajar diperguruan tinggi di Indonesia, mungkin pernah mendengar sistem pengaturan. Istilah ini merupakan terjemahan atau padanan istilah control system.

Namun marilah sejarah kita kaji apakah kata sistem pengaturan sudah benar – benar cocok untuk menggantikan kata control system. Apakah perbedaan kata pengendalian dan kata pengaturan dalam bahasa Indonesia. Didalam kamus umum bahasa Indonesia, kata “atur” dan “mengatur” diartikan sebagai menyusun, mengurus dengan baik – baik dan konotasinya diartikan dengan mengatur barang – barang secara rapi. Dilain pihak kata “kendali” dan “mengendalikan” diartikan sebagai mengekang atau menguasai yang dalam contoh pemakaiannya diartikan sebagai usaha mengendalikan seekor kuda. Tampak adanya unsur dinamika yang terkandung dalam kata kendali dan mengendalikan. Di dalam bahasa Inggris, kata to control tidak sekedar mengatur atau merapikan. Suku kata ini mengandung nilai – nilai yang lebih bersifat menguasai dan mengekang secara dinamis. Dari kedua keterangan diatas jelaslah bahwa istilah mengendalikan atau pengendalian jauh lebih mengena dipakai sebagai padanan kata to control. Istilah ini itulah sebabnya buku ini menggunakan istilah pengendalian dan mengendalikan.

Hampir semua proses dalam industri membutuhkan peralatan – peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak saja diperlukan demi kelancaran operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan

kebutuhan pokok. Tidak mungkin menjalankan suatu proses industri tanpa sistem pengendalian.

Ada banyak parameter yang harus dikendalikan didalam suatu proses. Diantaranya, yang paling umum adalah tekanan (pressure) didalam sebuah vessel atau pipa, suhu (temperature) diunit proses seperti heat exchanger atau permukaan zat cair atau level dalam sebuah tangki. Ada beberapa parameter lain diluar keempat parameter diatas yang cukup penting dan juga perlu dikendalikan karena dibutuhkan spesifik proses, diantaranya ; pH di industri petrokimia, warna produk disuatu fasilitas pencairan gas (NGL), dsb.

Gabungan serta kerja alat – alat pengendalian otomatis itulah yang dinamai sistem pengendalian proses (process control) system. Sedangkan semua peralatannya yang membentuk sistem pengendalian disebut instrument pengendalian proses (process control instrumentation). Kedua sistem ini berhubungan satu dengan yang lain, namun keduanya mempunyai hakikat yang berbeda. Namun dalam rangka mempelajari sistem, sering kali diperlukan penjelasan melalui kerja sistem atau kerja alat.

Sebagai gambaran, kata instrumentasi juga sering dipakai secara umum, misalnya instrumentasi musik, instrumentasi kedokteran, instrumentasi navigasi, instrumentasi laboratorium, instrumentasi otomatis, dan instrumentasi – instrumentasi untuk kegiatan lainnya. Khususnya dalam buku ini kata instrumentasi akan selalu diartikan sebagai instrumentasi pengendalian proses.

Contoh sederhana instrumentasi pengendalian proses adalah sakelar temperatur (temperatur switch) yang bekerja otomatis mengendalikan suhu setrika. Instrumentasi pengendali disetrika otomatis tersebut berbentuk switch. Sakelar tersebut akan memutuskan hubungan listrik ke elemen panas apabila suhu setrika ada diatas suhu titik yang dikehendaki, dan akan mengalirkan listrik ke elemen pemanas apabila suhu setrika ada dibawah titik yang dikehendaki (dibawah set point). Kelak akan diketahui bahwa jenis ini disebut pengendalian on-off.

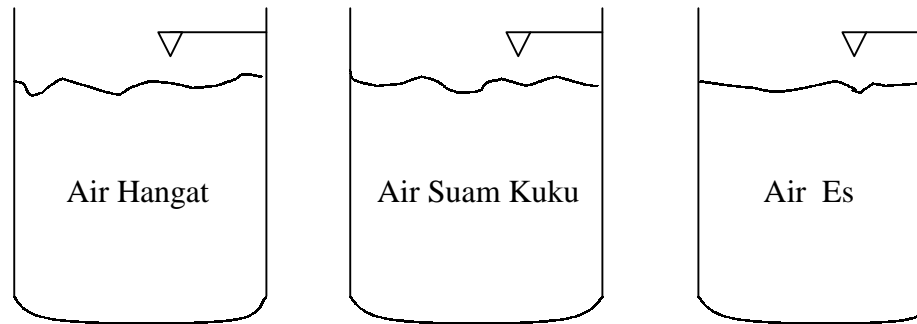
Pada contoh diatas, prosesnya adalah setrika, parameter yang dikendalikan adalah suhu dan instrumentasinya adalah sakelar temperature. Gabungan semua komponen – komponen tersebut membentuk sebuah sistem yang disebut sistem pengendalian proses. Ilmu yang menyangkut sistem pengendalian dari berbagai macam proses disebut dengan ilmu sistem pengendalian proses.

Didalam dunia nyata, pada sistem pengendalian tidak sederhana seperti pengendalian suhu didalam setrika otomatis diatas. Ada banyak sistem pengendalian yang sangat kompleks, yang kemudian hanya efektif kalau dikendalikan oleh komputer, contohnya sistem pengendalian proses difasilitas LNG, pengilangan minyak bumi, pabrik pupuk, pabrik kertas, ladang minyak, pusat pembangkit tenaga listrik, pabrik fatty acid, dsb.

Dalam rangka mempelajari sistem pengendalian, banyak sekali hal – hal pokok yang perlu dipahami terlebih dahulu. Misalnya operasi matematik difrensial dan integral, hukum – hukum fisika dasr, matematika persamaan difrensial, dasar- dasaar kerja sistem frekwensi dan sebagainya. Kadang – kadang sangat sulit untuk mempelajari sistem pengendalian proses tanpa memahami ilmu dasar tadi. Namun tidak perlu kecil hati, semua hukum tadi diterangkan secara bertahap dan dengan cara yang sangat sederhana.

MENGAPA DIPERLUKAN INSTRUMENTASI ?

Manusia adalah makhluk ciptaan tuhan yang mempunyai banyak kelebihan dan sekaligus dengan keterbatasannya. Salah satu keterbatasan manusia adalah dalam menggunakan inderanya sebagai alat ukur. Percobaan sederhana berikut akan membuktikan hal tersebut.



Gambar 1. Tiga tempayan dengan tiga macam air

Ada tiga buah tempayan berisi air yang diletakkan berurutan dari kiri ke kanan. Tempayan kiri diisi air hangat, tempayan tengah diisi air suam kuku dan temperatur kanan diisi air es. Apa yang dirasakan kalau tangan kiri dan tangan kanan dicelupkan ketempayan masing - masing ? Tangan kiri akan merasakan hangatya air hangat dan tangan kanan akan merasakan dinginnya air es. Sampai sebatas ini, manusia masih mampu membedakan mana yang dingin dan mana yang panas.

Namun apa yang terjadi bila kedua tangan kita apabila dimasukkan kedalam tempayan tengah yang berisi air suam kuku. Apa yang dirasakan kedua tangan kita ? tangan kiri yang baru berada di air hangat akan merasakan bahwa yang berisi ditempayan tengah itu dingin, tangan kanan kita yang baru berada di air es akan merasakan bahwa air itu air panas.

Mengapa bisa begitu ? karena tangan kanan atau indera kita memang tidak mampu dijadikan sebagai alat ukur yang akurat.

Percobaan sederhana diatas menunjukkan beberapa keterbatasan indera manusia sebagai alat pengukur suhu. Belum lagi keterbatasan manusia dalam hal mengukur suhu air yang hampir mendidih, atau besaran-besaran proses lain yang diantaranya proses flow, pressure, level dan temperatur tinggi. Manusia wajar tidak mampu menggunakan tangannya untuk mengukur suhu yang hampir mendidih, apalagi temperature suhu besi cair di sebuah tanur. Manusia memerlukan bantuan instrumentasi untuk mengukur parameter-parameter proses.

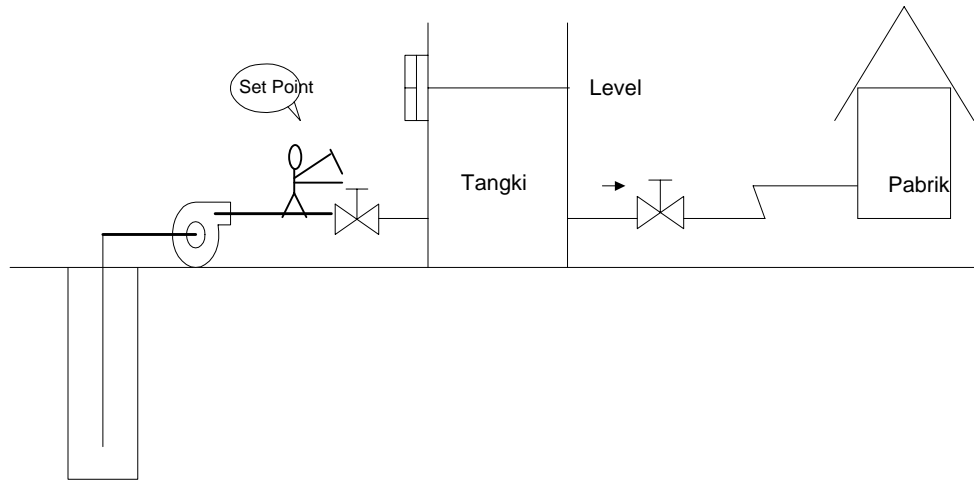
Selain itu, ada keterbatasan lain yang menyebabkan manusia memerlukan instrumentasi untuk mengendalikan proses. Hal itu akan dijelaskan dalam uraian bab berikutnya.

PENGENDALIAN OLEH MANUSIA

Gambar 2. menunjukkan bagaimana seorang operator mengendalikan level (permukaan zat cair) di sebuah tangki. Air yang masuk ke dalam tangki dipompa dari sebuah sumur, dan air yang keluar dari tangki dipakai untuk keperluan pabrik.

Andaikata level di tangki dikehendaki selalu 50% dari ketinggian tangki, maka operator harus selalu menambah atau mengurangi bukaan valve apabila level tidak berada di 50%. Bila level kurang dari 50%, operator harus menambah flow dengan lebih membuka valve. Sebaliknya, bila level lebih tinggi dari 50%, operator harus mengurangi dengan lebih

menutup valve. Pada pengendalian semacam ini, operator harus selalu waspada dan siap untuk membuka dan menutup valve agar level tetap berada pada 50%.



Gambar 2. Pengendalian level oleh manusia

Pengendalian seperti diatas disebut pengendalian oleh manusia (manual control). Sistem pengendalian manual masih tetap dipakai pada beberapa aplikasi tertentu. Biasanya proses ini dipakai pada proses-proses yang tidak banyak mengalami perubahan beban (load) atau pada proses yang tidak kritis. Load (beban) di dalam contoh pengendalian di atas adalah flow pemakaian air pada pabrik. Kalau pemakaian air oleh pabrik tidak sering berubah-ubah, operator tidak perlu terus-menerus mengamati level dan menambah atau mengurangi bukaan valve. Tetapi kalau load selalu berubah-ubah, operator terpaksa harus mengamati level dan segera melakukan koreksi terhadap naik turunnya level. Keteledoran operasi akan menyebabkan air tumpah, atau sebaliknya tangki menjadi kosong.

Dari keadaan di atas, dapat dengan mudah dimengerti bahwa dasar utama pemilihan pengendalian manual adalah karena keperluan proses memang memungkinkan untuk pengendalian manual. Dari segi ekonomi, instrumentasi pengendalian manual tentu lebih murah dari instrumentasi pengendalian otomatis, karena instrumentasi yang dibutuhkan memang lebih sederhana, namun bukan berarti demi menghemat investasi maka sistem pengendalian bisa dibuat manual. Pengendalian manual hanya dapat dipakai kalau operasi proses memang memungkinkan hal itu. Ada beberapa kebutuhan operasi proses yang akan ditunjukkan dalam buku ini nanti, bahwa pengendalian manual tidak dimungkinkan.

Contoh paling sederhana dapat kembali diambil dari gambar 2. kalau pemakaian air oleh pabrik berubah-ubah secara terus-menerus, keteledoran operator kemungkinan besar menyebabkan tumpahnya air dan kosongnya tangki. Operator, sebagai manusia biasa sangat mudah dipengaruhi oleh menurunnya konsentrasi kerja, rasa jemu dan keadaan lainnya. Kalau pengendalian operasi proses yang jauh lebih kritis dari contoh diatas mengandalkan manusia sebagai sarana pengendalian, akan bagaimana jadinya.

Untuk itu, sistem harus dibuat otomatis. Peran operator dalam sistem pengendalian manual digantikan oleh sebuah alat yang disebut controller. Tugas membuka dan menutupnya valve tidak lagi dikerjakan oleh operator, tetapi atas perintah controller. Untuk keperluan pengendalian otomatis, valve harus dilengkapi dengan alat yang disebut actuator sehingga unit valve sekarang menjadi suatu unit yang disebut control valve. Semua peralatan pengendalian inilah yang disebut sebagai instrumentasi pengendalian proses.

Ada tiga hal pokok yang baru saja dipelajari dari bab ini yaitu cara kerja pengendalian manual, keterbatasan manusia dalam mengendalikan proses, dan peran instrumentasi dalam membantu manusia mengendalikan proses.

PRINSIP PRINSIP PENGENDALIAN PROSES

Lihatlah kembali gambar 2. Pada sistem pengendalian pada gambar itu, pertama operator harus mengamati ketinggian level, kemudian mengevaluasi apakah level yang ada sudah sesuai dengan yang dikehendaknya. Kalau level tak sama dengan yang dikehendaknya, operator harus memperkirakan seberapa banyak valve harus lebih ditutupi atau dibuka. Selanjutnya operator harus benar-benar mengubah bukaan valve sesuai dengan yang diperkirakan tadi.

Kalau dikaji lebih jauh, dalam mengendalikan proses operator mengerjakan empat langkah berikut ;

MENGUKUR , MEMBANDINGKAN , MENGHITUNG , MENGOREKSI .

Pada waktu operator mengamati ketinggian level, yang ia kerjakan sebenarnya adalah langkah mengukur proses variabel. Proses variabel pertama kali diperkenalkan disini sebagai besaran parameter proses yang dikendalikan. Pada contoh proses pada gambar 2 , proses variabelnya adalah level. Kemudian operator membandingkan apakah hasil pengukuran tadi sesuai dengan apa yang dikehendaknya. Besar proses variabel yang dikehendaki tadi disebut set point . Pada contoh ini, kalau level tangki yang dikehendaki selalu 50%, set point dalam sistem pengendalian ini besarnya 50%. Perbedaan antara set point dengan proses variabel disebut error.

$$\text{Error} + \text{set point} = \text{proses variabel}$$

Proses variabel bisa lebih besar atau lebih kecil daripada set point. Oleh karena itu, error bisa negatif dan bisa juga positif. Berdasarkan besarnya error itulah, operator menentukan ke arah mana dan seberapa besar koreksi bukaan valve perlu dilakukan. Bila error bernilai negatif (berarti proses variabel lebih besar dari set point atau level diperbesar 50%) operator harus mengurangi flow dengan lebih menutup valve. Sebaliknya bila error positif (berarti proses variabel lebih kecil dari set point atau level dibawah 50%). Operator harus menambah flow dengan lebih membuka valve.

Seorang operator yang berpengalaman tak akan sembarangan membuka atau menutup valve. Ia juga akan memperkirakan seberapa banyak valve perlu lebih dibuka atau lebih ditutup. Pada tahapan ini operator sebenarnya berada pada langkah menghitung. Langkah berikutnya yang perlu dilakukan untuk operator adalah mengubah bukaan valve sesuai hasil perbandingan dan perhitungan tadi. Langkah terakhir inilah yang disebut langkah mengoreksi.

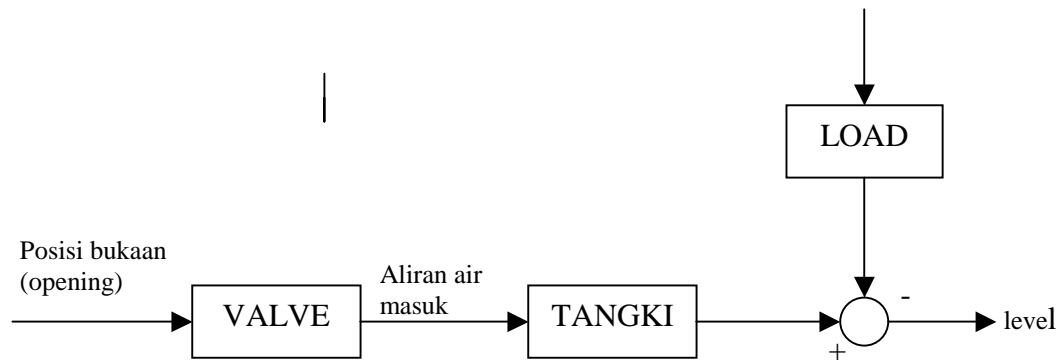
Keempat langkah yang dilakukan oleh operator tadi, yaitu ; mengukur, membandingkan, menghitung , dan mengoreksi ; seluruhnya dapat dilakukan oleh instrumentasi. Manusia kemudian sama sekali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator hanya menentukan besarnya set point, dan semuanya akan dikerjakan secara

otomatis oleh instrumentasi. Sistem pengendalian semacam inilah yang disebut sistem pengendalian otomatis (automatic control system). Keempat tahapan pengendaliannya sepenuhnya dilakukan oleh instrumen. Mata rantai pengendaliannya kemudian disebut mata rantai tertutup, dan sistemnya juga disebut sistem pengendalian tertutup atau closed loop system. Hal ini akan dibahas lebih tuntas pada bab berikutnya.

DIAGRAM KOTAK

Diagram kotak diciptakan para ilmuwan sebagai alat bantu untuk mempermudah dalam mempelajari ilmu sistem pengendalian.

Ada dua macam diagram kotak yang biasa dipakai dalam ilmu sistem pengendalian, yaitu diagram kotak simbolis dan diagram kotak matematis. Di kedua diagram kotak itu, masing-masing elemen yang ada di dalam sistem diwakili oleh sebuah kotak. Pada diagram kotak simbolis, sebuah kotak dibubuhi nama atau simbol-simbol. Pada diagram kotak matematis, setiap kotak dibubuhi fungsi matematis yang merupakan hubungan input dan output elemen. Lihatlah bentuk kedua diagram input dan output tersebut pada gambar 3 dan gambar 4. Bila valve dan tangki (proses) pada gambar 2 digambarkan dalam diagram kotak ; akan diperoleh bentuk diagram sebagai berikut ;



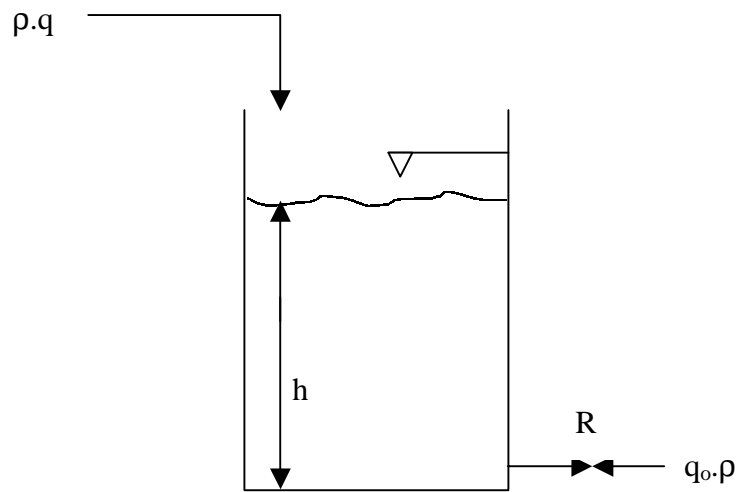
Gambar 3. Diagram kotak proses untuk contoh pada gambar 2

Setiap kotak pada gambar 3 mempunyai sebuah input dan output yang digambarkan dalam bentuk anak panah. Kotak valve mempunyai input bukaan valve (0-100%) dan mempunyai output aliran air masuk ke tangki (juga 0-100%).

Kotak berikutnya adalah kotak yang mewakili tangki (proses). Pada contoh dalam gambar 2 kotak ini mewakili tangki dalam bentuk input berupa flow air yang masuk ke tangki, output berupa level. Perhatikan pada gambar 3 itu, output kotak pertama merupakan input kotak kedua. Jadi output kotak pertama (flow air masuk ke tangki) juga merupakan input kotak kedua (tangki). Kotak yang lain adalah yang mewakili beban (load). Kotak ini menunjukkan bahwa load juga mempengaruhi besarnya proses. Pada contoh ini load adalah banyaknya pemakaian air oleh pabrik. Bila permukaan air bertambah, permukaan tangki akan menurun. Dan bila permukaan air menurun maka permukaan air dalam tangki akan naik.

Selain kedua kotak yang telah diterangkan tadi, ada elemen lain dengan tanda lingkaran kecil, yang diberi tanda positif (+) dan negatif (-). Elemen ini disebut summing junction. Elemen ini mewakili fungsi penjumlahan atau pengurangan besan sinyal. Dalam contoh ini tanda positif menyatakan penjumlahan dan level akan bertambah jika aliran air yang masuk kedalam tangki bertambah dan level akan turun jika permukaan air (load) bertenang. Tanda pada summing junction bisa keduanya positif, negatif, dan bisa juga positif negatif seperti pada gambar 3. Diagram kotak seperti pada gambar 3 inilah yang disebut diagram kotak simbolis. Bila diagram kotak ini digambarkan secara matematis, masing-masing kotak akan berisi fungsi matematis yang menyatakan hubungan input dan output. Fungsi matematis tersebut disebut fungsi transfer. Bentuk matematis sebuah fungsi transfer bisa sederhana misalnya bilangan bulat atau pecahan, bisa juga berbentuk persamaan differensial yang kompleks.

Perhatikan sistim tinggi cairan dalam berikut dibawah ini. Sistem ini disebut Single Proses Capacity karena hanya memiliki satu unit proses yaitu sistem tinggi cairan dalam tangki. Sistem pengendalian ini juga disebut linier open loop system, karena mempunyai satu unit proses yang dikendalikan secara manual.



Gambar 4. Sistem tinggi cairan dalam tangki

Bagaimana bentuk fungsi transfer untuk sistem pengendalian diatas ? Dan bagaimana pula blok diagram sistem sistem pengendalian diatas ? Untuk menjawab kedua pertanyaan diatas, adalah sangat penting dibuat dan ditentukan input, output, proses serta hubungan matematisnya. Untuk itu harus dibuat keseimbangan massa cairan pada tangki proses.

Pada bab ini kedua pertanyaan diatas akan dijawab dengan menggunakan transformasi laplace, walaupun penurunan rumus ini sengaja disiapkan untuk melengkapi penjelasan dalam dinamika proses yang akan dibahas pada bab-bab berikutnya. Tetapi untuk memahami bab ini, penulis akan menguraikannya berikut ini.

Neraca untuk tangki diatas adalah :

$$pq - pq_o = \rho A \frac{dh}{dt} \dots\dots 1)$$

dt

asumsikan harga dimensi adalah konstan. Maka persamaan 1) diatas dapat dituliskan sbb :

$$q - q_0 = A \frac{dh}{dt} \dots\dots 2)$$

dalam keadaan steady state, persamaan 2) diatas dapat dituliskan sbb :

$$q_s - q_{s.o} = 0 \dots\dots\dots 3)$$

Tanda s pada persamaan 3) diatas menyatakan kecepatan aliran flida yang masuk dam keluar pada keadaan stedy state.Deviasi keadaan unsteady state dan keadaan stedy stste dapat didefinisikan sebagai :

$$(q - q_s) - (q_0 - q_{0.s}) = A \frac{d(h - h_s)}{dt} \dots\dots\dots 4)$$

di mana :

$$q - q_s = Q \quad ; \quad q_0 - q_{0.s} = Q_0 \quad ; \quad h - h_s = H$$

maka persamaan 4) dapat dituliskan sebagai :

$$Q - Q_0 = A \frac{dH}{dt} \dots\dots\dots 5)$$

karena aliran fluida bersifat laminer, Q_0 mempunyai hubungan linear terhadap H, maka ;

$$q_0 = \frac{h}{R} \quad \rightarrow \quad Q_0 = \frac{H}{R} \dots\dots\dots 6)$$

Dengan menggabungkan persamaan 5) dan 6) dihasilkan persamaan 7) dibawah ini

$$Q - \frac{H}{R} = A \frac{dH}{dt}$$

$$R Q - H = A R \frac{dH}{dt}$$

$$R Q - H = \tau \frac{dH}{Dt} \dots\dots\dots 7)$$

Dimana $\tau = A.R =$ tetapan waktu (time konstan atau lag time)

$A =$ luas penampang tangki

Dengan transformasi laplace, persamaan 7) dapat digunakan untuk menentukan bentuk fungsi transfer dan blok diagram sistem pengendalian di atas.

Persamaan 7) berubah menjadi :

$$\frac{R Q(s) - H(s)}{Q(s)} = \frac{\tau s H(s)}{\tau s + 1} \dots\dots\dots 8)$$

Transformasi laplace persamaan 6) menghasilkan :

$$Q_o(s) = \frac{H(s)}{R} \dots\dots\dots 9)$$

$$H(s) = R Q_o(s) \dots\dots\dots 10)$$

Dengan menggabungkan persamaan 8) dan 10) dapat persamaan 11) sbb :

$$\frac{R Q_o(s) - R Q_o(s)}{Q(s)} = \frac{R Q_o(s)}{\tau s + 1}$$

$$\frac{Q_o(s)}{Q(s)} = \frac{1}{\tau s + 1} \dots\dots\dots 11)$$

Tanda s pada persamaan 11) di atas menyatakan persamaan masih dalam bentuk transformasi laplace dan dapat dirobah ke dalam bentuk fungsi dengan invers transformasi laplace.

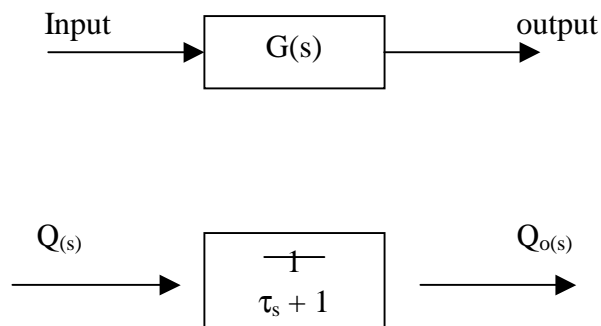
Pada persamaan 11) input proses dalam bentuk transformasi laplace adalah Q(s) dan output proses adalah Q_o(s). Dalam ilmu sistem mengendalikan proses, fungsi transfer dinyatakan sbb :

$$G = \frac{\text{output}}{\text{Input}} \dots\dots\dots 12)$$

Maka fungsi transfer sistem pengendalian di atas adalah :

$$G = \frac{Q_o(s)}{Q(s)} = \frac{1}{\tau s + 1} \dots\dots\dots 13)$$

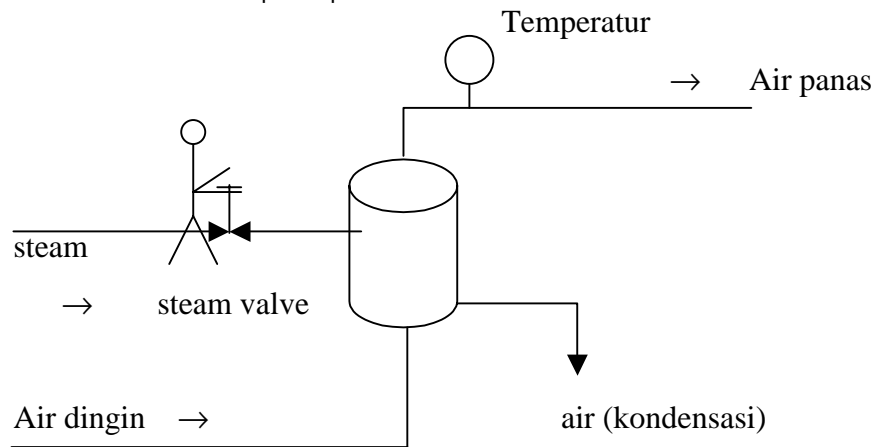
Dan blok diagram sistem pengendalian di atas dapat dituliskan sbb :



Perlu ditegaskan bahwa fungsi transfer pada persamaan 13) di atas adalah bentuk fungsi transfer yang umum dan khas bagi single capacity proses, yang dikontrol secara manual dan akan berubah tergantung dari input proses yang masuk.

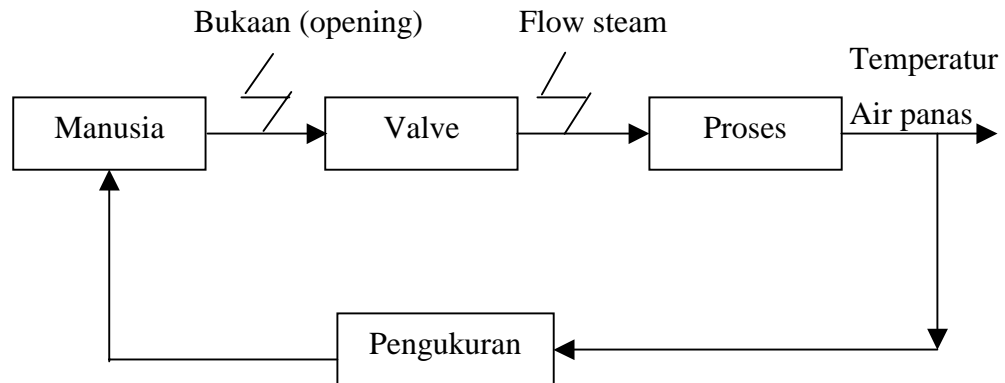
DIAGRAM KOTAK SISTEM PENGENDALIAN MANUAL

Lihatlah contoh pengendalian dari yang ada pada gambar 6). Kali ini contoh membahas pengendalian temperatur air pada satu heat exchanger. Heat exchanger adalah sebuah unit yang berfungsi untuk memanaskan suatu fluida produk yang mengambil energi panas dari media lain. Pada contoh ini fluida produknya adalah air dan media sumber panasnya adalah steam (uap air panas). Air masuk dalam keadaan dingin, dan di dalam heat exchanger terjadi perpindahan energi panas dari steam ke air dingin. Karena energi panas steam terserap oleh air dingin, akan terjadi kondensasi (pengembunan) steam. Steam tidak lagi keluar dalam bentuk uap tetapi dalam bentuk air.



Gambar 5. Pengendalian Temperature pada sebuah H.E.

Error merupakan dasar untuk menghitung seberapa banyak koreksi terhadap bukaan valve yang perlu dilakukan. Berdasarkan error inilah operator memperhitungkan berapa banyak valve perlu lebih ditutup atau lebih dibuka. Kemudian operator harus melakukan langkah mengoreksi bukaan valve. Posisi bukaan valve selanjutnya harus ditambah atau dikurangi sesuai dengan perhitungan tadi.



Gambar 6. Diagram kotak sistem pengendalian manual

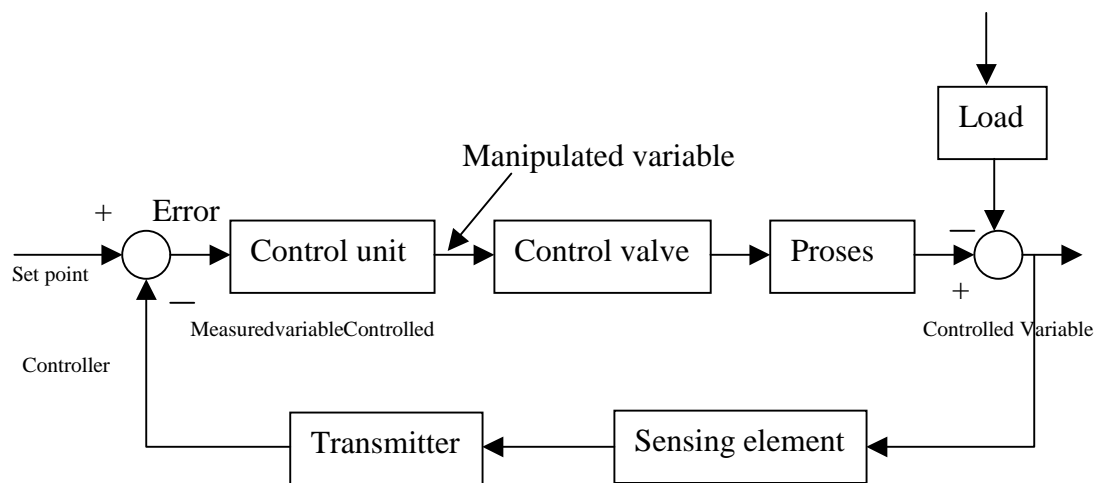
Dalam bentuk diagram kotak, sistem pengendalian pada contoh ini digambarkan dalam bentuk seperti pada gambar 6. Sistem semacam ini disebut open loop. Mengapa demikian ? karena mata rantai (loop) di sini masih terputus oleh peran manusia yang ada di dalam sistem. Bandingkanlah gambar 6) ini dengan yang ada di dalam gambar sistem closed loop yang ada pada gambar 2.

Kesimpulan apa yang bisa ditarik dari semua penjelasan di atas ? kesimpulannya, sebuah sistem pengendalian disebut open loop apabila perintah koreksi dilakukan oleh manusia, dan disebut close loop apabila perintah koreksi dilakukan oleh sebuah controller (instrumentasi). Tidak peduli apakah controller itu merupakan controller mekanis, pneumatik, elektronik, maupun komputer. Selama manusia tidak campur tangan dalam hal ini menentukan buka – tutup valve, sistemnya disebut closed loop.

ELEMEN-ELEMEN SISTEM PENGENDALIAN OTOMATIS

Mulai di sini, pembaca akan melihat betapa pentingnya diagram kotak dalam mempelajari ilmu sistem pengendalian. Hampir semua analisa sistem pengendalian selalu dimulai dengan menampilkan diagram kotak sistem, yang secara umum dapat dilihat seperti pada gambar 7 . Diagram kotak semacam ini dapat ditemukan pada hampir semua literatur. Ada literature lain yang menampilkan kotak-kotak elemen dalam susunan yang berbeda dengan yang ada dalam gambar 7. Namun pada dasarnya semua cara penggambaran itu sama benar, dan cara kerjanya pun tidak berbeda sama sekali.

Di dalam diagram kotak sistem pengendalian otomatis akan saja selalu ada komponen-komponen pokok seperti elemen pengukuran (sensivity elemen dan transmitter), elemen controller (control unit), dan final control elemen (control valve). Dalam bentuk matematis, semua kotak elemen itu kelak akan di isi persamaan-persamaan matematis yang merupakan fungsi transfer elemen-elemen tersebut. Sebenarnya diagram kotak ini disiapkan untuk analisa matematis. Bandingkanlah diagram kotak ini dengan diagram kotak pada gambar 6.



Gambar 7. Diagram kotak sistem pengendalian otomatis

Di dalam gambar 7 , bagian controller mempunyai summing junction dengan tanda positif-negatif (+/-). Di titik inilah langkah membandingkan dilakukan dengan menggunakan besaran set point dengan sinyal measured variabel. Hasilnya adalah sinyal yang disebut error.

Tanda negatif (-) di summing junction membawa arti yang sangat spesifik bagi seluruh sistem. Karena tanda inilah sistem pengendalian otomatis juga lazim disebut dengan negative feed back. Dengan demikian, sistem pengendalian otomatis mempunyai dua nama lain, yaitu sistem closed loop dan sistem negative feed back.

Mungkin ada sebagian pembaca yang pernah mendengar istilah positif feed back (feed back positif). Pada feedback positif, tanda negatif (-) pada summing junction diganti dengan tanda positif (+). Jadi ada dua tanda positif pada summing junction. Set point tidak lagi dikurangi dengan sinyal measurement variabel , tetapi justru ditambah dengan measurement variabel.

Jadi error bukan set point dikurangi (-) measurement variabel melainkan set point ditambah measurement variabel. Perubahan tanda ini membawa dampak yang sangat besar bagi kerja seluruh sistem. Marilah kita lihat apa yang terjadi kalau sebuah sistem pengendalian menggunakan feedback positif.

Lihatlah kembali gambar 1.5 yang akan memperjelas keterangan berikut. Dengan adanya feed back positif pada waktu uap air lebih panas dari yang dikehendaki (lebih besar dari set point) steam tidak akan dikurangi, melainkan justru akan di rubah. Mengapa begitu ? Karena summing junction mengatakan pada unit control bahwa hasil kurang besar. Error dalam hal ini adalah set point ditambah measurement variabel. Akibatnya steam justru akan terus ditambah dengan semakin panasnya air. Temperatur air akan semakin tinggi dan akhirnya terciptalah keadaan yang sangat berbahaya. Karena alasan ini, sistem feedback positif harus dihindari pada setiap pengendalian.

Feedback positif bisa terjadi kalau control dipasang secara keliru. Karena pada setiap control ada pilihan apakah ia akan bekerja incolose – incolose atau incolose – decolose. Kesalahan memilih fasilitas ini menyebabkan sistem pengendalian feedback negatif menjadi sistem feedback positif. Oleh karena itu perhatikan yang benar pada saat memilih fasilitas tersebut.

Untuk sementara marilah kita pelajari terlebih dahulu semua istilah yang perlu diketahui dalam rangka mempelajari sistem pengendalian otomatis (closed loop system).

Definisi semua istilah tersebut tidak perlu dihafal, yang penting pahami pengertianannya.

1. Proses (Process) adalah tatanan peralatan suatu fungsi tertentu contohnya heat exchanger yang ada didalam gambar 5. Input proses dapat bermacam-macam, yang pasti ia merupakan besaran yang dimanipulasi oleh final control element atau control valve agar measurement variabel sama dengan set point. Input proses ini juga disebut manipulated variabel.
2. Controller variabel adalah besaran atau variabel yang dikendalikan. Besaran ini pada diagram kotak juga disebut output proses atau proses variabel. Pada contoh pada gambar 5 , temperature air panas yang keluar dari heat exchanger adalah controller variabel proses tersebut.
3. Manipulated variabel adalah input dari suatu proses yang dapat dimanipulasi atau diubah-ubah besarnya agar proses variabel atau controller variabel besarnya sama dengan set point. Pada contoh pada gambar 5. input proses adalah steam flow yang masuk ke heat exchanger.
4. Disturbance adalah besaran lain, selain manipulated variabel yang dapat menyebabkan berubahnya control variabel. Besaran ini juga lazim disebut load. Pada

contoh proses pada gambar 5, salah satu dari disturbance proses adalah perubahan pemakaian air panas.

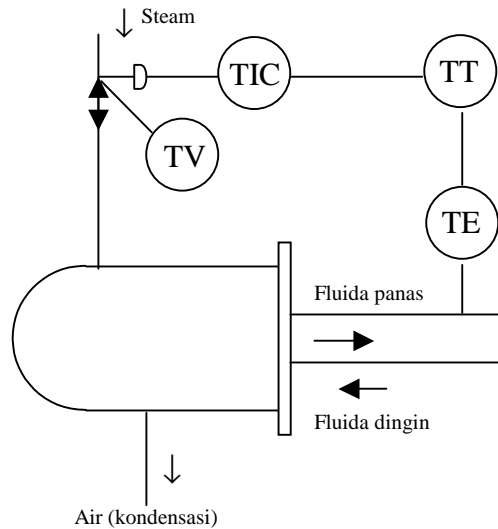
5. Sensing element adalah bagian paling ujung suatu sistem pengukuran (measuring system). Contoh sensing elemen yang banyak dipakai misalnya thermokopel atau orifice plose. Bagian ini juga biasa disebut sensor atau primary element.
6. Transmitter adalah alat yang berfungsi untuk membaca sinyal sensing element, dan mengubahnya menjadi sinyal yang bisa dimengerti oleh controller. Jangan samakan istilah transmitter di sini dengan istilah transmitter yang ada di bidang telekomunikasi.
7. Transducer adalah unit pengolah sinyal. Kata transmitter sering kali dirancukan dengan istilah transducer. Keduanya memang mempunyai fungsi yang serupa, walaupun tak sama benar. Transducer lebih bersifat lebih umum, sedangkan transmitter lebih khusus yang pemakaiannya pada sistem pengukuran.
8. Measurement variabel adalah sinyal yang keluar dari transmitter. Besaran ini merupakan cerminan besarnya sinyal sistem pengukuran.
9. Set point adalah besar proses variabel yang dikehendaki. Sebuah controller akan selalu berusaha menyamakan controller variabel dengan set point.
10. Error adalah selisih antara set point dikurangi measurement variabel. Error bisa negatif dan bisa juga positif. Bila set point lebih besar dari measurement variabel, error akan menjadi positif. Sebaliknya, bila set point lebih kecil dari measurement variabel, error akan menjadi negatif.
11. Controller adalah element yang mengerjakan tiga dari empat tahap langkah pengendalian yaitu membandingkan set point dengan measurement variabel, menghitung berapa banyak koreksi yang perlu dilakukan, dan mengeluarkan sinyal koreksi sesuai dengan hasil perhitungan tadi. Controller sepenuhnya menggantikan peran manusia dalam mengendalikan sebuah proses. Dalam bahasa Indonesia kata controller sering kali diterjemahkan sebagai alat pengendali.
12. Control unit adalah bagian dari controller yang menghitung besarnya koreksi yang diperlukan. Input control unit adalah error, dan outputnya adalah sinyal yang keluar dari controller. Output control unit adalah hasil penyelesaian matematik dengan transfer function dan memasukkan nilai error sebagai input.
13. Final control element, seperti tercermin dari namanya adalah bagian akhir dari instrument atau pengendalian. Bagian ini berfungsi untuk mengubah measurement variabel dengan cara memanipulasi besarnya manipulated variabel, berdasarkan perintah controller.

KERJA SISTEM PENGENDALIAN OTOMATIS

Secara prinsip, kerja sistem pengendalian otomatis sama benar dengan kerja manual. Kedua sistem tetap melakukan empat sistem pengendalian yaitu, mengatur, membandingkan, menghitung dan mengoreksi. Bedanya pada sistem pengendalian otomatis, keempat langkah tersebut tidak lagi dikerjakan oleh operator, tetapi sepenuhnya dikerjakan oleh sebuah controller. Ambil sebagai contoh sistem pengendalian temperatur air pada gambar 5 yang secara otomatis, sistem pengendaliannya menjadi seperti gambar 8.

Pada proses tersebut, input atau manipulated variabel adalah flow steam dan output atau control variabel adalah temperatur fluida produk, dalam contoh ini air. Scala controller dicontoh ini adalah 0-100% yang mewakili temperature 0-100°C. Load atau disturbance proses di situ adalah perubahan air panas. Sensing element yang dipakai adalah termokopel. Final control element adalah control valve yang bertugas memanipulasi besarnya flow steam.

Dalam bentuk diagram kotak, sistem pengendalian gambar 8 dapat digambarkan seperti gambar 9.



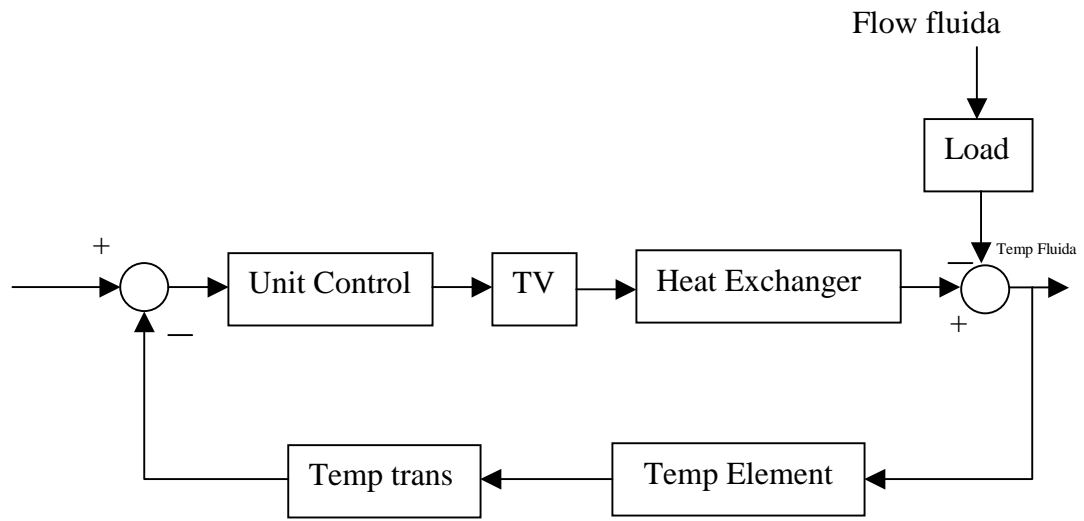
Gambar 8. Pengendalian Heat Exchanger secara otomatis

Katakanlah pada keadaan awal, proses stabil dan seimbang pada set-point 50% (temperature fluida proses 50°C). Andaikata kontrol valve pada keadaan awal itu juga ada pada posisi 50% error pada saat itu adalah 50%. Karena kebutuhan proses set point kemudian perlu dinaikkan dari 50% menjadi 60%, maka ;

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \text{set point} - \text{measured variabel} \\ &= 60\% - 50\% \\ &= 10\% \end{aligned}$$

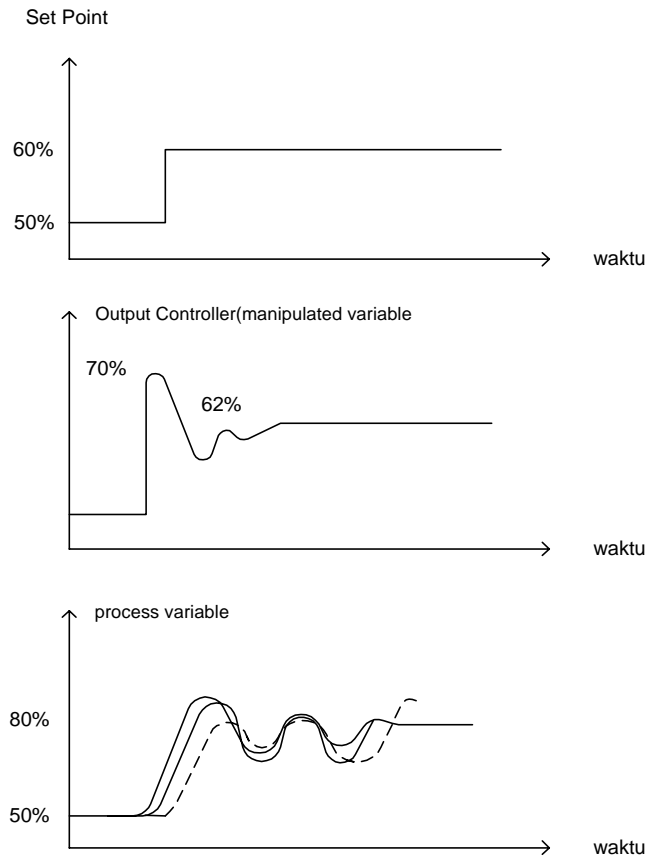
Andaikata dengan error 10% ini output controller berubah dari 50% menjadi 70%. Perubahan ini akan membawa perubahan bukaan control valve dari 50% menjadi 70%. Tentu saja proses variable (temperatur air panas) juga akan turun naik, katakanlah kenaikan terjadi dari 50°C menjadi 54°C. Dengan proses perubahan variable ini error tak lagi membuat output controller menjadi 70% andaikata output menjadi 62%, setelah waktu tertentu temperatur air akan turun naik dan katakanlah kemudian menjadi 57°C. Dengan begitu erorr tidak 6% tetapi tinggal 3%. Begitu seterusnya sampai sistem mencapai kestabilan yang baru misalnya di titik 59% atau 59°C dan control valve terbuka pada posisi terakhir, katakanlah 58%.

Secara grafis, ketiga besaran tersebut, set point, output controller dan proses variable, dapat digambarkan pada sebuah kurva waktu. Kurva waktu adalah sebuah kurva yang menggambarkan secara grafis hubungan antara ketiga besaran di atas dalam unit waktu.



Gambar 9. Diagram kotak pengendalian heat exchanger

Lihatlah gambar 10. Pada waktu set point dinaikkan dari 50% menjadi 60%. Pada saat itu manipulated variable naik menjadi 70%. Pada waktu variable proses sama dengan 54%, manipulated variable ada pada titik 62%. Demikian seterusnya seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 10. Contoh Kurva Waktu

Kesimpulan apa yang dapat ditarik dari semua penjelasan di atas.

Pertama kalau diperhatikan benar, keempat langkah pengendalian mengukur, membandingkan, menghitung dan mengoreksi dikerjakan dalam waktu yang sama dan secara kontinu oleh masing-masing elemen. Kerja sistem pengukuran sistem controller dan control valve dilakukan secara bersama-sama. Akibatnya bisa saja terjadi keadaan dimana sistem pengukuran sudah mengukur proses variable yang lebih tinggi dari set point, namun control valve masih menambah manipulated variable.

Kedua, kurva waktu sistem pengendalian tak harus sama dengan yang ada pada gambar 10. Semua harga-harga di atas hanya untuk mempermudah menerangkan kurva waktu. Lalu apa yang menentukan bentuk kurva waktu atau perilaku sistem pengendalian.

Untuk sementara simpan dahulu rasa bertanya-tanya itu. Bab ini hanya dikhususkan untuk memperkenalkan penggunaan istilah-istilah yang dipakai dalam sistem pengendalian, dan memperkenalkan apakah kurva waktu itu.

DAFTAR PUSTAKA

1. F.G. Shinsky. Process Control Sistem Problem-Solving Software, Foxboro Company, 1990.
2. Douglas M. Considine, S.D. Ross. Handbook of Applied Instrumentation, Mc.Graw Hill, New York, USA, 1964.
3. Coughanower, Koppel. Process system analysis and control. International StudentCoilection, Mc Graw Hill, Kogahuska, Tokyo, 1965.
4. ISA Software, Feedback feed forward, Instrument Society of America, 1989.
5. H.W. Boger, Lucien Marot, Why valves are always Oversize? Instrument society of America Magazine, October 1993.