

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Laju Alir Fluida**

Fluida adalah suatu zat yang bisa mengalami perubahan-perubahan bentuknya secara *continue*/terus-menerus bila terkena tekanan/gaya geser walaupun relatif kecil atau bisa juga dikatakan suatu zat yang mengalir, kata fluida mencakup zat cair, gas, air, dan udara karena zat-zat ini dapat mengalir. Sebaliknya batu dan benda-benda keras (seluruh zat-zat padat tidak dapat dikategorikan sebagai fluida karena zat-zat tersebut tidak bisa mengalir secara *continue*). (Irma Suryani, 2013)

Laju alir adalah banyaknya zat yang mengalir dengan kecepatan tertentu persatuan waktu. Laju alir suatu fluida dapat dibedakan ke dalam 3 macam pola aliran, yaitu aliran laminar, aliran turbulen dan aliran dari campuran keduanya (transisi).

1. Aliran Laminar

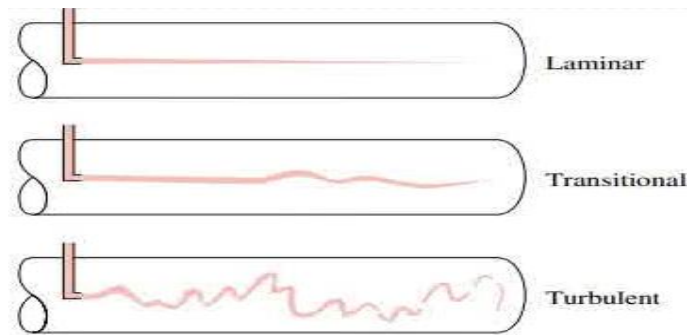
Aliran laminar terjadi ketika kecepatan fluida dalam pipa rendah dan partikel fluida bergerak lancar. Kecepatan dari partikel diseluruh fluida mengambil bentuk parabola.

2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen terjadi ketika kecepatan aliran fluida tinggi dan partikel fluida tidak lagi bergerak lancar dan turbulensi atau efek berguling.

3. Aliran Transisi

Aliran transisi adalah salah satu aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen.



Gambar 1. Pola Liran Fluida  
(Ilham Khoir, 2014)

## 2.2 Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tekanan dari fluida yang bergerak seperti udara berkurang ketika fluida tersebut bergerak lebih cepat. Hukum Bernoulli ditemukan oleh Daniel Bernoulli, seorang matematikawan Swiss yang menemukannya pada 1700-an. Persamaan Bernoulli memiliki hubungan antara tekanan, kecepatan fluida, dan elevasi dalam sistem aliran.

Secara umum hukum Bernoulli menyatakan bahwa tekanan suatu fluida di tempat yang kecepatannya tinggi lebih kecil dibandingkan dengan fluida yang kecepatannya rendah. Jadi semakin besar kecepatan fluida dalam suatu pipa maka tekanan yang dihasilkan akan semakin kecil, dan sebaliknya semakin kecil kecepatan fluida dalam suatu fluida maka tekanan yang dihasilkan akan semakin besar.

## 2.3 Sistem Pengendalian Proses

System pengendalian atau sistem kontrol adalah susunan beberapa komponen yang terangkai membentuk aksi pengendalian. System pengendalian yang diterapkan dalam teknologi proses disebut sistem pengendalian proses. Dalam bidang ini, pengendalian proses diterapkan pada reaktor, penukar panas

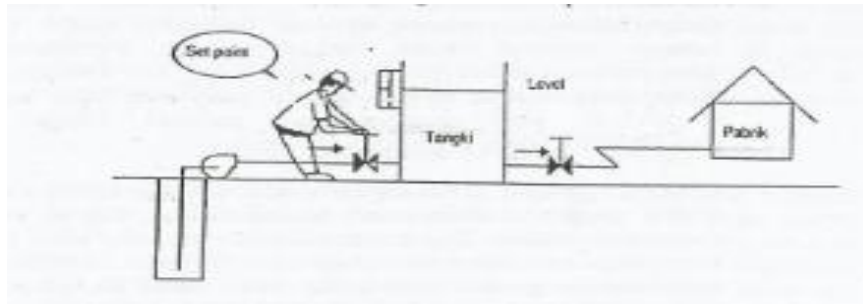
(*heat exchanger*), kolom pemisahan (misalnya distilasi, absorpsi, ekstraksi), tangki penampung cairan, aliran fluida, dan masih banyak lagi. (Arfy Sasmita, 2010)

Ada parameter yang harus dikendalikan di dalam suatu proses. Di antaranya, yang paling umum, adalah tekanan (*pressure*) di dalam sebuah *vessel* atau pipa, aliran (*flow*) di dalam pipa, suhu (*temperature*) di unit proses seperti *heat exchanger*, atau permukaan zat cair (*level*) di sebuah tangki. Ada beberapa parameter di luar keempat parameter tersebut yang cukup penting dan juga perlu dikendalikan karena kebutuhan spesifik proses, diantaranya: pH di industri Petrokimia, warna produk di suatu fasilitas pencairan gas (NGL), dan sebagainya.

Gabungan serta kerja alat-alat pengendalian otomatis itulah yang dinamai sistem pengendalian proses (*process control system*), sedangkan semua peralatan yang membentuk sistem pengendalian disebut instrumen pengendalian proses (*process control instrumentation*). (Frans Gunterus, 1994)

#### **2.4 Prinsip-prinsip Pengendalian Proses**

Perhatikan gambar berikut, pertama operator harus mengamati ketinggian *level*, kemudian mengevaluasi apakah *level* yang ada sudah seperti yang dikehendaki. Jika *level* tidak sama dengan yang dikehendakinya, maka operator harus memperkirakan seberapa banyak *valve* perlu ditutup atau perlu dibuka. Selanjutnya, operator harus benar-benar mengubah bukaan *valve* sesuai dengan yang diperkirakan tadi.



Gambar 2. Pengendalian *Level* Di Dalam Tangki Oleh Manusia (Frans Gunterus, 1994)

Prinsip pengendalian proses, jika dikaji lebih jauh lagi, dalam mengendalikan proses operator mengerjakan empat langkah berikut:

Mengukur – Membandingkan – Menghitung – Mengoreksi

Saat operator mengamati ketinggian *level*, yang ia kerjakan sebenarnya adalah langkah **mengukur** proses variabel. Istilah *process variable* pertama kali diperkenalkan sebagai besaran parameter proses yang dikendalikan. Kemudian operator **membandingkan** apakah hasil pengukuran tadi sesuai dengan apa yang dikendalikan. Besar *process variable* yang dikehendaki tadi disebut *set point*. Pada contoh ini, jika *level* di tangki dikehendaki selalu 50%, *set point* di dalam sistem pengendalian ini besarnya 50%. Perbedaan antara *process variable* dan *set point* disebut *error*.

$$Error = set\ point - process\ variable$$

*Process variable* bisa lebih besar atau bisa juga lebih kecil daripada *set point*. Oleh karena itu, *error* bisa negatif 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 *process variable* lebih besar dari *set point* atau level lebih tinggi dari 50%) operator harus mengurangi *flow* dengan lebih menutup *valve*. Sebaliknya, bila *error* positif (berarti *process variable* lebih kecil dari *set point* atau level di bawah 50%) operator

harus menambah *flow* dengan lebih membuka *valve*.

Seorang operator yang berpengalaman tidak akan sembarang membuka atau menutup *valve*. Ia juga akan memperkirakan seberapa banyak *valve* perlu lebih dibuka atau lebih ditutup. Pada tahapan itu, operator sebenarnya sedang melakukan langkah **menghitung**. Langkah berikutnya yang perlu dikerjakan oleh operator adalah mengubah bukaan *valve* sesuai dengan hasil perbandingan dan perhitungan tadi. Langkah terakhir inilah yang disebut dengan langkah **mengoreksi**.

Keempat langkah tersebut yang dilakukan oleh operator yaitu; mengukur, membandingkan, menghitung dan mengoreksi, seluruhnya dapat dikerjakan oleh instrumentasi. Manusia, kemudian sama sekali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator hanya perlu menentukan besarnya *set point*, dan semuanya akan dikerjakan secara otomatis oleh instrumen. Sistem semacam itulah yang disebut sistem pengendalian otomatis (*automatic control system*). (Frans Gunterus, 1994)

## 2.5 Sistem Pengukuran

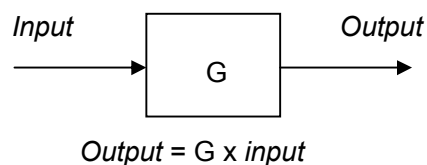
Sistem pengukuran adalah bagian yang paling utama dan pertama dari suatu sistem pengendalian. Ingat bahwa langkah “mengukur” adalah langkah pertama yang harus dilakukan sebelum melakukan tiga langkah pengendalian yang lainnya. Bagian pengukuran adalah salah satu bagian yang menentukan hasil akhir dari kerja sistem. Bagaimana tidak, kalau hasil pengukuran tidak cocok dengan besarnya *process variable* mencapai titik seperti yang kita kehendaki (*set point*). (Frans Gunterus, 1994)

## 2.6 Pengertian Dinamika Proses

Dinamika Proses adalah suatu hal yang terjadi di dalam suatu sistem, dengan adanya *process variable* yang cepat berubah dengan berubahnya *manipulated variable* (bukan *control 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 kapasitas 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.



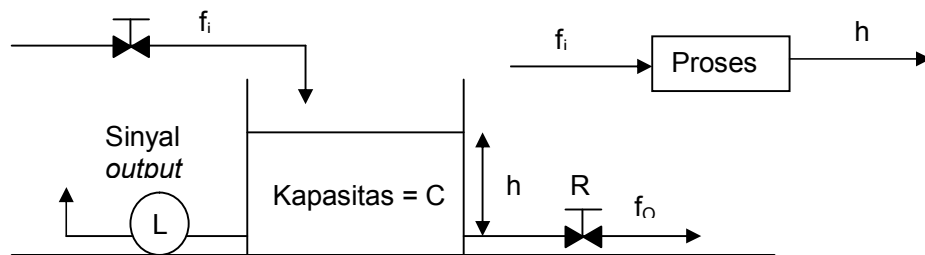
Gambar 3. Diagram Kotak Sebuah Proses  
(Frans Gunterus, 1994)

*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 (*higher 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*, dan proses orde banyak juga disebut *multicapacity process*.

## **2.7 Proses Orde Satu Self-Regulation**

Di dalam ilmu sistem pengendalian, dikenal sebuah elemen proses yang mampu mengendalikan dirinya sendiri, walaupun padanya tidak dipasang instrumentasi pengendalian otomatis. Elemen proses yang mempunyai sifat seperti itu disebut elemen proses *self regulation*. Contoh elemen proses *self regulation* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. Proses Orde Satu *Self Regulation*  
(Frans Gunterus, 1994)

*Input* proses adalah *flow* tangki ( $F_i$ ) dan *output* proses adalah level ( $h$ ) pada tangki, yang dapat dibaca sebagai sinyal *output* dari LT (*level transmitter*). Pada keadaan awal, diandaikan *level* di 50% tangki dan  $F_i$  serta  $F_o$  juga sama 50% skala *flow*. Pada Keadaan awal itu semua parameter seimbang, sehingga *level* tetap di 50% sampai terjadi perubahan pada  $F_i$  sebesar  $f_i$ .

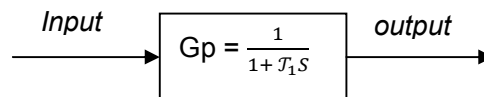
Andaikan keadaan seimbang terganggu karena  $F_i$  naik secara mendadak sebesar  $f_i$  10%. Dengan bertambahnya  $F_i$ , *level* ( $h$ ) juga akan berubah dan cenderung naik. Namun, kenaikan *level* sebesar  $h$  akan secara alami diikuti oleh kenaikan  $F_o$  sebesar  $f_o$  sehingga akan dicapai keseimbangan yang baru dimana  $F_i$  sama dengan  $F_o$ . *Level* akan terhenti dikesetimbangan yang baru itu selama tidak terjadi perubahan  $F_i$  maupun  $F_o$ . Keseimbangan baru ini pasti ada di atas 50%, dan  $F_i$  maupun  $F_o$  juga ada di atas 50% skala *flow*. keadaan mencapai keseimbangan sendiri inilah yang disebut *self regulation*.

Andaikan keseimbangan baru terjadi pada *level* 70%, *steady state gain* dari proses itu dikatakan sama dengan dua ( $G_p = 2$ ). Mengapa demikian, karena untuk 10% pertambahan input ( $f_i$ ) akhirnya dihasilkan 20% pertambahan *output* ( $h$ ). tentu saja keadaan *self regulation* ini hanya terjadi untuk batas-batas tertentu. Yang jelas, kalau diandaikan  $G_p = 2$ ,  $F_i$  tidak pernah boleh ditambah lebih dari 25%, air akan tumpah keluar dari tangki.

Lalu apakah keadaan proses diatas bisa disebut *self regulation*?. Keadaan



tumpahnya air memang bisa terjadi, bahkan juga pada sistem yang sudah dilengkapi pengendalian otomatis sekalipun. Hal itu disebabkan karena sistem pengendalian hanya mampu mengatasi *load* atau *disturbance* sampai batas-batas tertentu saja.

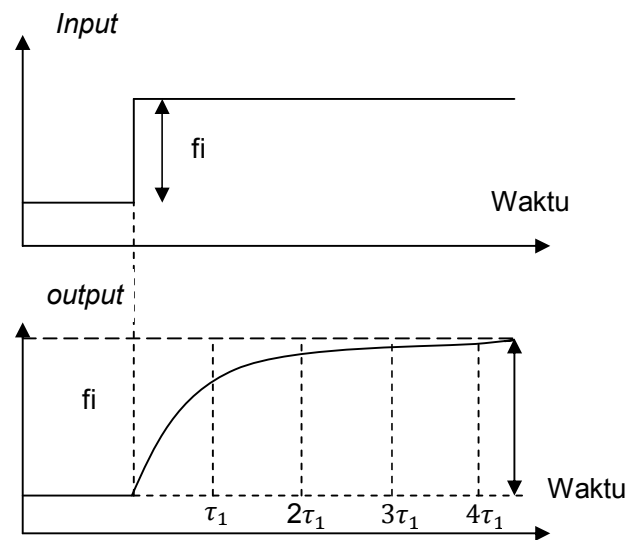


Gambar 5. Diagram Kotak Proses Orde Satu *Self Regulation* (Frans Gunterus, 1994)

Proses *self regulation* memerlukan waktu untuk mencapai keseimbangan yang baru. Sehingga, *transfer function* proses itu pasti merupakan persamaan fungsi waktu. Bentuk *transfer function* seperti pada gambar 3 itulah yang disebut bentuk persamaan differensial pangkat satu. Simbol  $s$  di persamaan itu adalah bentuk transformasi laplace. Asal usul proses *self regulation* dapat memiliki *transfer function* dapat dilihat pada persamaan matematika berikut:

$$g_p = \frac{G_p}{(2\pi\tau_1/\tau_0)^2}$$

*Transfer function* adalah temperatur  $\tau_1$ , yang disebut sebagai *lag time* atau *time constant*. Jika, kapasitas tangki ditandai dengan  $C$ , dan hambatan yang ditimbulkan oleh bukaan *control valve* ditandai dengan  $R$ , maka besar  $\tau_1$  adalah  $R/C$ .



Gambar 6. Kurva Waktu Proses Orde Satu *Self Regulation*  
(Frans Gunterus, 1994)

## 2.8 Hasil Kerja System Pengendalian Otomatis

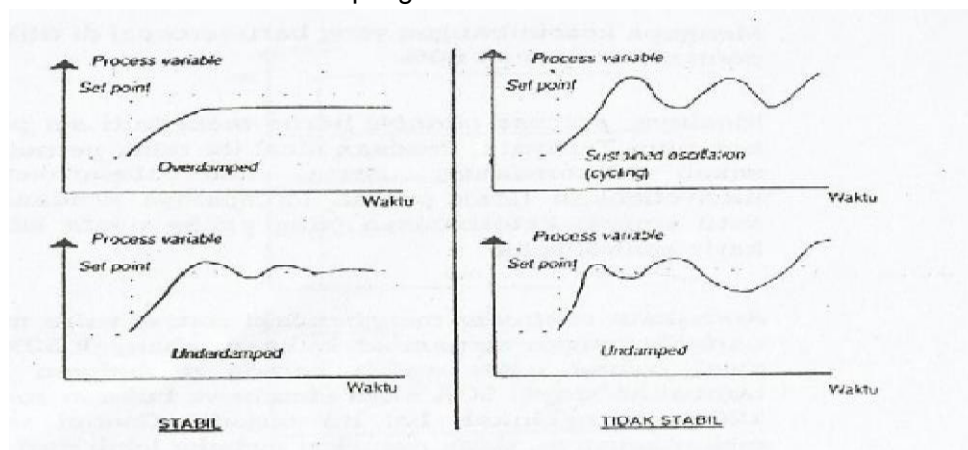
Suatu sistem pengendalin dikatakan stabil, apabila nilai *process variable* berhasil mendekati *set point* (besarnya *process variabel* yang dikehendaki), walaupun diperlukan waktu untuk itu. Keadaan stabil itu dapat dicapai dengan respon yang *overdumped* ataupun *underdumped*. kedua respon itu mempunyai 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)