

2.2.2 Klasifikasi Sistem Kendali

Secara umum, sistem kendali dapat di klasifikasikan sebagai berikut:

1. Sistem Kendali Manual dan Otomatis
2. Sistem *Open Loop* & sistem *Closed Loop*
3. Sistem Kendali *Continue* dan *Diskrit*
4. Menurutsumbersinyal :
 - a. Elektrik
 - b. Mekanik
 - c. Pneumatik
 - d. Hidraulik

1. Sistem Kendali Manual & otomatis

Sistem secara manual adalah sistem kendali yang dilakukan oleh manusia yang bertindak sebagai operator sedangkan pengendalian secara otomatis adalah pengontrolan yang dilakukan oleh mesin-mesin/peralatan yang bekerja secara otomatis dan operasinya dibawah pengawasan manusia [3].

2. Sistem Loop terbukadan Loop tertutup

1. Sistem Kendali Loop Terbuka suatu sistem kendali yang mempunyai karakteristik dimana nilai keluaran tidak memberikan pengaruh pada aksi kendali .



Gambar 2.1 Sistem Kendali Loop Terbuka [3]

2. Sistem Kendali Loop Tertutup

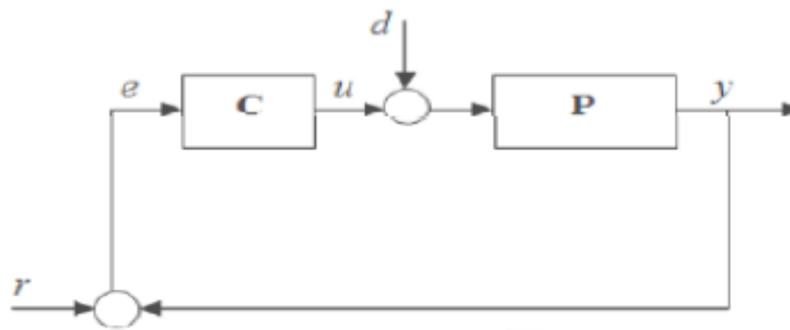
Sistem kendali loop tertutup adalah identic dengan system kendali umpan balik, dimana nilai dari keluaran akan ikut mempengaruhi pada aksi kontrolnya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.2 Diagram Blok Sederhana Sistem Loop Tertutup [10]

Pada Gambar 2.2 r adalah *reference point* atau nilai yang diinginkan, d gangguan bagi sistem, e sinyal *error*, u *control input*, y keluaran sistem, C sistem pengendali, dan P adalah *plant* [10]

Pada gambar 2.2 menunjukkan hubungan masukan dan keluaran dari sistem kendali *Closed Loop*. 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.

Berikut ini adalah komponen pada sistem kendali tertutup:

1. *Input* (masukan), merupakan rangsangan yang diberikan pada sistem kendali, merupakan harga yang diinginkan bagi variabel yang dikendali selama pengontrolan. Harga ini tidak tergantung pada keluaran sistem.
2. *Output* (keluaran, respons), merupakan tanggapan pada sistem kendali, merupakan harga yang akan dipertahankan bagi variabel yang dikendali, dan merupakan harga yang ditunjukkan oleh alat pencatat.
3. *Sistem/Plant*, merupakan sistem fisis yang akan dikendali (misalnya mekanis, listrik, *hidraulik* ataupun *pneumatic*).
4. Alat kendali, merupakan peralatan/ rangkaian untuk mengontrol beban (sistem). alat ini bisa digabung dengan penguat.
5. Elemen Umpan Balik, menunjukkan/mengembalikan hasil pencatan ke *detector* sehingga bisa dibandingkan terhadap harga yang diinginkan (di stel).

6. *Error Detector* (alat deteksi kesalahan), merupakan alat pendeteksi kesalahan yang menunjukkan selisih antara *input* (masukan) dan respons melalui umpan balik (*feedback path*).
7. Gangguan merupakan sinyal-sinyal tambahan yang tidak diinginkan. Gangguan ini cenderung mengakibatkan harga keluaran berbeda dengan harga masuknya, gangguan ini biasanya disebabkan oleh perubahan beban sistem, misalnya adanya perubahan kondisi lingkungan, getaran ataupun yang lain [2].

2.2.3 Perancangan Sistem Kendali

Dalam perancangan sistem kendali, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menganalisa sistem yang akan dikendali 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 [2].

2.2.4 Pengendali *Sliding Mode*

Pengendali *sliding mode* merupakan sebuah kendali umpan balik pensaklaran berkecepatan tinggi (*high speed switching feedback control*) yang efektif dan kokoh dalam mengendalikan sistem *linier* maupun *non linier* [7]. Pengendali *sliding mode* terkenal karena kekokohnya karena pengendali ini menyediakan sebuah metode perancangan sistem yang tidak peka terhadap ketidakpastian parameter lingkungan dan gangguan dari luar [7], yang di definisikan dengan persamaan sebagai berikut.

1. Sistem dinamis

$$\dot{x}^{(n)}(t) = f(x,t) + b(x,t).u + d(t) \quad (2.1)$$

Dimana u control input, x merupakan vektor keadaan, $f(x,t)$ dan $b(x,t)$ berupa fungsi terbatas, $d(t)$ gangguan eksternal. Jika x_d merupakan x yang diinginkan, maka *tracking error*-nya dapat dinyatakan dengan [10]:

$$e(t) = x(t) - x_d(t) \quad (2.2)$$

2. Fungsi Switching

Fungsi *Switching* yaitu permukaan $S(x,t)$ di dalam ruang keadaan R^n , memenuhi persamaan [10].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$S(x,t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right)^{(n-1)} e \tag{2.3}$$

Dimana:

- n : orde sistem
- e : error
- λ : konstanta positif

Dengan λ berupa konstanta positif. Dimana fungsi *switching* ini digunakan untuk menentukan besarnya nilai u agar memenuhi kondisi *sliding*.

3. Permukaan *Sliding*

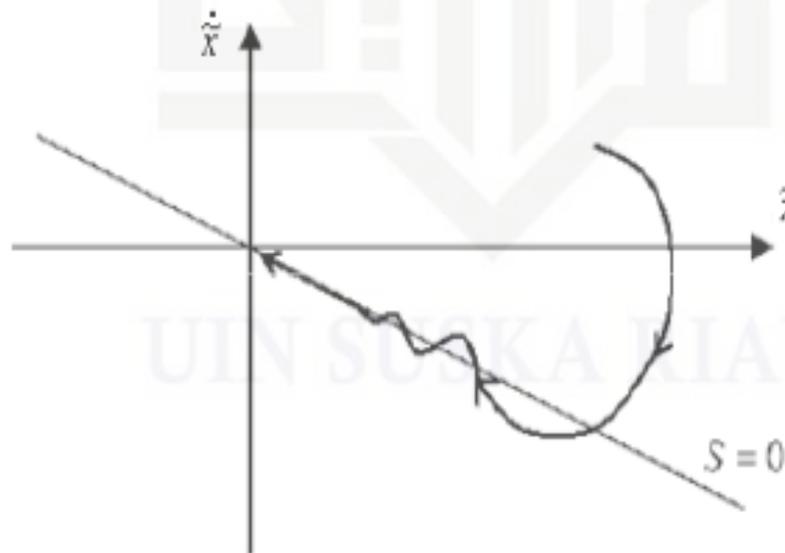
Permukaan *sliding* (*sliding surface*) merupakan persamaan yang memenuhi

$$S(x,t) = 0 \tag{2.4}$$

4. Kondisi *Sliding*

Besar nilai *control input* pada SMC bergantung pada nilai S , sehingga memenuhi pertidaksamaan yang disebut kondisi *sliding*. Kondisi tersebut ditulis dalam bentuk sebagai berikut.

$$S\dot{S} < 0 \text{ atau } \dot{S} \operatorname{sgn}(S) \leq -\eta \tag{2.5}$$



Gambar 2.3 Kondisi *Sliding* [10]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Untuk suatu η konstanta positif. *Sliding mode* berarti bahwa sekali trayektori keadaan e mencapai permukaan sliding, maka trayektori sistem akan bertahan di sana sambil meluncur ke titik asal bidang $e=0$ secara independen dengan semua ke tidak pastian[10].

2.2.5. Fuzzy Logic Control (FLC)

Fuzzy logic control (FLC) Logika *fuzzy* merupakan pengembangan dari teori himpunan *fuzzy* yang pertama diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 dari Universitas *California Berkeley*. Logika *fuzzy* sendiri berbeda dengan logika konvensional digital biasanya (*Boolean*), dimana logika biasa hanya mengenal dua harga, yaitu “satu dan nol” atau “ya dan tidak”. Sedangkan logika *fuzzy* harga kebenaran diberikan dalam terminologi linguistik dengan menyertakan predikat kekaburan (*fuzzines*) pada proposisinya. Dengan menggunakan konsep sifat kesamaan satu nilai, logika *fuzzy* dapat memberikan nilai dari nol secara kontinu sampai satu [10].

Pengendali *fuzzy* (*fuzzy controller*) umumnya bekerja secara heuristik (*trial and error*) dan berdasarkan pengalaman manusia. Himpunan *fuzzy* A dalam semesta pembicaraan U biasa dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen u (u anggota U) dan besarnya derajat keanggotaan (*grade of membership*) elemen tersebut, μ_A sebagai :

$$\bar{A} = \{ (u, \mu_A(u) / u \in U) \} \tag{2.6}$$

Suatu pengendali *fuzzy* (*fuzzy logic controller*) tersusun dari empat buah komponen yang bekerja bersamaan dan dapat diuraikan sebagai :

1. *Rule-base*, berisi sekumpulan aturan *fuzzy* dalam mengendalikan sistem.
2. *Inference mechanism*, mengevaluasi aturan kontrol yang relevan dan mengambil keputusan masukan yang akan digunakan untuk *plant*.
3. *Fuzzifikasi*, mengubah masukan sehingga dapat digunakan pada aturan di *rule-base*, dari nilai *crisp* menjadi nilai *fuzzy*.
4. *Defuzzifikasi*, mengubah kesimpulan yang diperoleh dari *inference mechanism* menjadi masukan *plant*, dari nilai *fuzzy* menjadi nilai *crisp* [10].

Ada beberapa yang perlu diketahui dalam memahami sistem logika *fuzzy* yaitu :

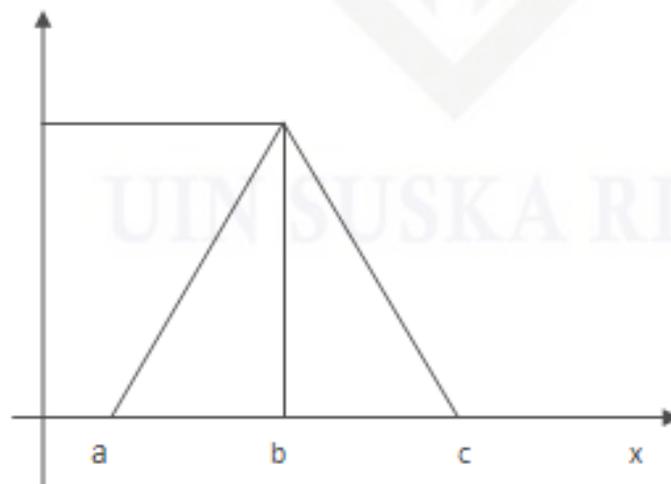
1. Variabel *fuzzy*
 Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Contoh : umur, temperatur, permintaan, dan lain-lain.
2. Himpunan *fuzzy*
 Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*
3. Semesta pembicaraan
 Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*.
4. Domain
 Keseluruhan nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy* [11]

Fungsi keanggotaan (*members hip functional*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan input data kedalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 dan 1 [11].

Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan.

a. Representasi kurva segitiga

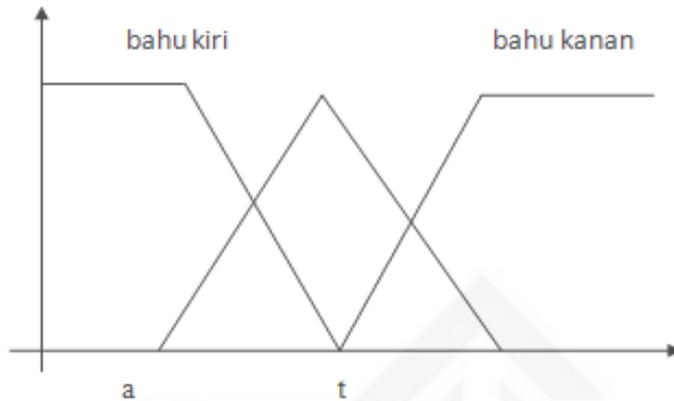
Fungsi keanggotaan segitiga ditandai adanya 3 (tiga) parameter {a, b, c} yang akan menentukan kordinat x dari tiga sudut, rumusnya sebagai berikut:



Gambar 2.4 Kurva Segitiga [11].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



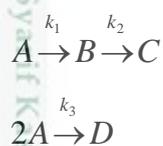
Gambar 2.5 Kurva Fungsi Keanggotaan [11].

Dimana bahu kiri bergerak dari benar kesalah demikian juga sebaliknya bahu kanan bergerak dari salah kebenar. Untuk aturan fungsi-fungsi implikasi sendiri tiap aturan (Proposisi) pada basis pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan relasi *fuzzy*, bentuk umum proposisi menggunakan operator logika fuzzy adalah : *if x is A then y is B*. Dengan x dan y adalah skalar, dan B dan A adalah himpunan *fuzzy*. Proposisi mengikuti *if* tersebut sebagai anteseden. Sedangkan proposisi mengikuti *then* tersebut sebagai konsekuen [11].

2.2.6 Modeling & Ishotermal CSTR

Isotermal CSTR adalah sejenis CSTR yang ada beroperasi pada suhu konstan. Volumnya juga di asumsikan konstan, Skema reaksi terdiri dari reaksi ireversibel aliran umpan hanya berisi komponen A[2]. Adapun jenis cairan yang digunakan pada proses penelitian ini diantaranya ialah *Cyclopentadine*, *Cyclopentenol*, *Cyclopentanediol*, *Dicyclopentadiene* [2] Pada kondisi isotermal atau suhu tetap, suhu umpan sama dengan suhu larutan di dalam reaktor maupun suhu larutan keluar reaktor [12].

Isotermal CSTR memiliki reaksi berikut skema yang disebut reaksi Van de Vusse [2].

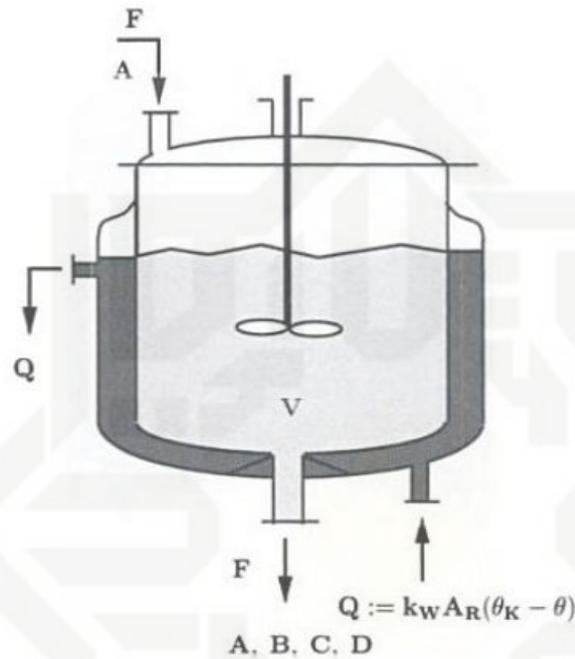


Dari skema diatas ditunjuk tahapan – tahapan terhadap laju molaritasnya, dari skema tersebut didapatlah konstantanya sebagai berikut [2]:

$$k_1 = 50h^{-1} = 0.83 \text{ min}^{-1}$$

$$k_2 = 100h^{-1} = 1.66 \text{ min}^{-1}$$

$$k_3 = 10\text{moll}^{-1}h^{-1} = 0.166\text{moll}^{-1} \text{ min}^{-1}$$



Gambar 2.6 Representasi skema pada reaktor

Konsentrasi umpan pada *steady state* adalah $C_{Afs} = 10\text{gmoll}^{-1}$

Persamaan untuk keseimbangan keseluruhan material yang digunakan [2].

$$\frac{d(V\rho)}{dt} = F_i \rho - F \rho \tag{2.9}$$

Jadi

$$F = F_i \tag{2.10}$$

Komponen keseimbangan material bisa juga menggunakan [2]

$$\frac{d(VC_A)}{dt} = F(C_{Af} - C_A) - V k_1 C_A - V k_3 C_A^2 \tag{2.11}$$

Untuk menyederhanakan persamaan (2.11) kita dapat menggunakan Persamaan yang ada pada (2.12) berikut adalah persamaan untuk setiap komponen kesetimbangan materialnya [2].

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{F}{V} (C_{Af} - C_A) - r_A \quad (2.12)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = -\frac{F}{V} C_B + k_1 C_A - r_B \quad (2.13)$$

Tingkat pembentukan molar untuk setiap komponen (per unit volume) sebagai berikut [2].

$$r_A = -k_1 C_A - k_3 C_A^2 \quad (2.14)$$

$$r_B = k_1 C_A - k_2 C_B \quad (2.15)$$

Sementara untuk konsentrasi steady state A dan B didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut [2].

$$C_{AS} = \frac{-\left(k_1 + \frac{F_S}{V}\right) + \sqrt{\left(k_1 + \frac{F_S}{V}\right)^2 + 4k_3 \frac{F_S}{V} C_{Afs}}}{2k_3} \quad (2.16)$$

$$C_{BS} = \frac{k_1 C_{AS}}{\frac{F_S}{V} + k_2} \quad (2.17)$$

Keadaan ruang model linier direpresentasikan sebagai berikut [2]

$$x = Ax + Bu$$

$$Y = Cx + Du$$

Untuk variabel *state* di representasikan dengan matriks A sebagai berikut [2]

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} C_A & -C_{AS} \\ C_B & -C_{BS} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Untuk variabel *output* di representasikan dengan matriks B sebagai berikut [2]

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} C_A & -C_{AS} \\ C_B & -C_{BS} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Variabel *input* di representasikan sebagai berikut [2]

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} \frac{F}{V} & -\frac{F_S}{V} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Dua persamaan fungsional dinamis direpresentasikan sebagai [2]

$$\frac{dC_A}{dt} = f_1\left(C_A, C_B, \frac{F}{V}\right) = \frac{F}{V}(C_{Af} - C_A) - k_1 C_A - k_3 C_A^2 \quad (2.21)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = f_2\left(C_A, C_B, \frac{F}{V}\right) = -\frac{F}{V} C_B + k_1 C_A - k_2 C_B \quad (2.22)$$

Elemen ruang pada state space Matriks A ditentukan oleh

$$A_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right|_{x_s, u_s} \quad (2.23)$$

$$A_{11} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial C_A} \right|_{x_s, u_s} = -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{As} \quad (2.24)$$

$$A_{12} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial C_B} \right|_{x_s, u_s} = 0 \quad (2.25)$$

$$A_{21} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial C_A} \right|_{x_s, u_s} = k_1 \quad (2.26)$$

$$A_{22} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial C_B} \right|_{x_s, u_s} = -\frac{F_s}{V} - k_2 \quad (2.27)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{As} & 0 \\ k_1 & \frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Elemen ruang pada state space Matriks B ditentukan oleh

$$B_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial u_j} \right|_{x_s, u_s} \quad (2.29)$$

$$B_{11} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_1} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial \left(\frac{F}{V}\right)} \right|_{x_s, u_s} = C_{Afs} - C_{As} \quad (2.30)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$B_{12} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_2} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial \left(-\frac{F_s}{V} \right)} \right|_{x_s, u_s} = \frac{F_s}{V} \quad (2.31)$$

$$B_{21} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_1} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial \left(\frac{F}{V} \right)} \right|_{x_s, u_s} = -C_{Bs} \quad (2.32)$$

$$B_{22} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_2} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial \left(-\frac{F_s}{V} \right)} \right|_{x_s, u_s} = 0 \quad (2.33)$$

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{Afs} - C_{AS} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{BS} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Dari matriks A dan matriks B di atas di dapatlah model ruang *State Space* yang di representasikan sebagai berikut

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} & 0 \\ k_1 & \frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

$$B = \begin{bmatrix} C_{Afs} - C_{AS} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{BS} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

$$C = [0 \quad 1] \quad (2.37)$$

$$D = [0 \quad 0] \quad (2.38)$$

Selanjutnya mengubah model *state space* ke *transfer function*

$$G(s) = C(sI - A)^{-1} B \quad (2.39)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$G(s) = \left[0 \quad 1 \right] \left[\begin{array}{cc} s & 0 \\ 0 & s \end{array} \right] - \left[\begin{array}{cc} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} & 0 \\ k_1 & -\frac{F_s}{V} - k_2 \end{array} \right]^{-1} \left[\begin{array}{c} C_{Afs} - C_{AS} \\ -C_{BS} \end{array} \right] \frac{F_s}{V}$$

$$sI - A = \begin{bmatrix} S + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & S + 2.238 \end{bmatrix}$$

$$(sI - A)^{-1} = \begin{bmatrix} S + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & S + 2.238 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$= \begin{bmatrix} S + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & S + 2.238 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\det(sI - A)}$$

$$= \begin{bmatrix} S + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & S + 2.238 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{(s + 2.238)(s + 2.4048) - (0)(0.83)}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{s + 2.4048} & 0 \\ \frac{0.83}{(s + 2.238)(s + 2.4048)} & \frac{1}{s + 2.238} \end{bmatrix}$$

$$C(sI - A)^{-1} = [0 \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{s + 2.4048} & 0 \\ \frac{0.83}{(s + 2.238)(s + 2.4048)} & \frac{1}{s + 2.238} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.83 & 1 \\ (s + 2.238)(s + 2.404) & s + 2.238 \end{bmatrix}$$

$$C(sI - A)^{-1} B = \begin{bmatrix} 0.83 & 1 \\ (s + 2.238)(s + 2.404) & s + 2.238 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 & 0.5714 \\ -1.117 & 0 \end{bmatrix}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$= \left[\frac{0.83.7}{(s+2.238)(s+2.404)} - \frac{1.117}{s+2.238} - \frac{0.83.0.5714}{(s+2.2381)(s+2.2404)} \right]$$

$$G_{11} = \frac{5.833-1.117(s+2.404)}{(s+2.238)(s+2.404)}$$

$$G_p = \frac{-1.117s+3.1472}{s^2+4.6429s+5.3821} \quad (2.40)$$

Dari persamaan (2.39) dapat dilihat pemodelan matematis dari *isothermal* CSTR dan data parameter proses *Ishothermal* CSTR dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Parameter Proses *Ishothermal* CSTR [2]

No	Parameter	simbol	Nilai
1	Kesetimbangan Masukan Konsentrasi	C_{Afs}	10 g mol ⁻¹
2	Kesetimbangan Pada Konsentrasi A	C_{AS}	3 g mol ⁻¹
3	Kesetimbangan Pada Konsentrasi B	C_{BS}	1.117 g mol ⁻¹
4	Nilai Molaritas Konstan Untuk A → B	k_1	0.83 min ⁻¹
5	Nilai Molaritas Konstan Untuk B → C	k_2	1.66 min ⁻¹
6	Nilai Molaritas Konstan Untuk 2A → D	k_3	0.166 mol ⁻¹ min ⁻¹
7	Nilai Pada Pengenceran	$\frac{F_s}{V}$	0.5714 min ⁻¹

2.2.7 First Orde Plus Dead Time (FOPDT)

Model yang dikembangkan dengan metode ini memberikan hubungan dinamis antara variabel *input* dan variabel *output*. Untuk menentukan sebuah model empirik yang *linear* dari sebuah proses adalah dengan mencari parameter seperti (*dead time*, konstanta waktu, dan *gain*) yang dapat ditentukan dengan *step respon* data pada kondisi *open loop*. Dengan memberikan *step disturbance* pada proses dan mencatat variabel *output* sebagai fungsi waktu, maka dapat dibuat kurva reaksi proses yang menghubungkan antara waktu dengan variabel *output*. Adapun langkah dalam pembuatan kurva reaksi prosesnya adalah sebagai berikut [13].

- a. Mulai dari *steady state*
- b. *Step* tunggal ke input
- c. Kumpulkan data hingga *steady state*
- d. Lakukan kalkulasi

Selanjutnya dapat ditentukan fungsi transfer *First Orde Plus Dead Time (FOPDT)* sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau.s + 1} \quad (2.41)$$

Dimana

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{\Delta y}{\Delta x} \\ \tau_p &= 1.5(t_{63\%} - t_{28\%}) \\ t_0s &= t_{63\%} - \tau \end{aligned} \quad (2.42)$$

Dimana K adalah model proses *static gain*, τ adalah *time constan* atau lag model proses dan t_0 adalah model waktu mati atau waktu delaynya. model ini bisa direpresentasikan mengikuti persamaan berikut ini [14].

$$G_m(s) = G_m^+(s).G_m^-(s) \quad (2.43)$$

Dimana $G_m^+(s)$ dan $G_m^-(s)$ sesuai dengan bagian yang tidak dapat diubah dan bagian penundaan bebas dari model, yang ditunjukkan oleh fungsi transfer berikut[13].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$G_m^+(s) = e^{-t_{op}s} \tag{2.44}$$

$$G_m^-(s) = \frac{K_p}{\tau_p s + 1} \tag{2.45}$$

Banyak proses kimia dapat dimodelkan sebagai sistem orde pertama. Persamaan diferensial untuk sebuah proses linier orde pertama sering ditulis dalam bentuk persamaan 2.45 berikut [14] :

$$\tau_p \frac{dx}{dt}(t) + y(t) = K_p u \tag{2.46}$$

Dimana parameter (τ_p dan K_p) dan variabel (y dan u) memiliki nama sebagai berikut:

- $U(t)$ = adalah nilai input
- τ_p = adalah time konstan
- K_p = adalah gain $\frac{\Delta x}{\Delta u}$
- x = adalah nilai output

2.2.8 Spesifikasi Tanggapan Transien

Spesifikasi tanggapan transien dalam domain waktu yang dimaksud adalah:

1. Waktu tunda (*delay time*), t_d :

Adalah waktu yang dibutuhkan tanggapan untuk mencapai setengah dari nilai akhir dari tanggapan untuk pertama kali.

2. Waktu naik (*rise time*), t_r :

Adalah waktu yang dibutuhkan untuk naik dari 10% – 90%, 5% – 95%, atau 0% – 100% dari nilai akhir dari tanggapan. Untuk kasus *underdamped*, biasanya digunakan kriteria 0% – 100%. Untuk kasus *overdamped*, biasanya digunakan kriteria 10% – 90%.

3. Waktu puncak (*peak time*), t_p :

Adalah waktu yang dibutuhkan tanggapan untuk mencapai nilai puncak dari *overshoot* pertama kali.

4. *Overshoot* maksimum (*maximum overshoot*), M_p :

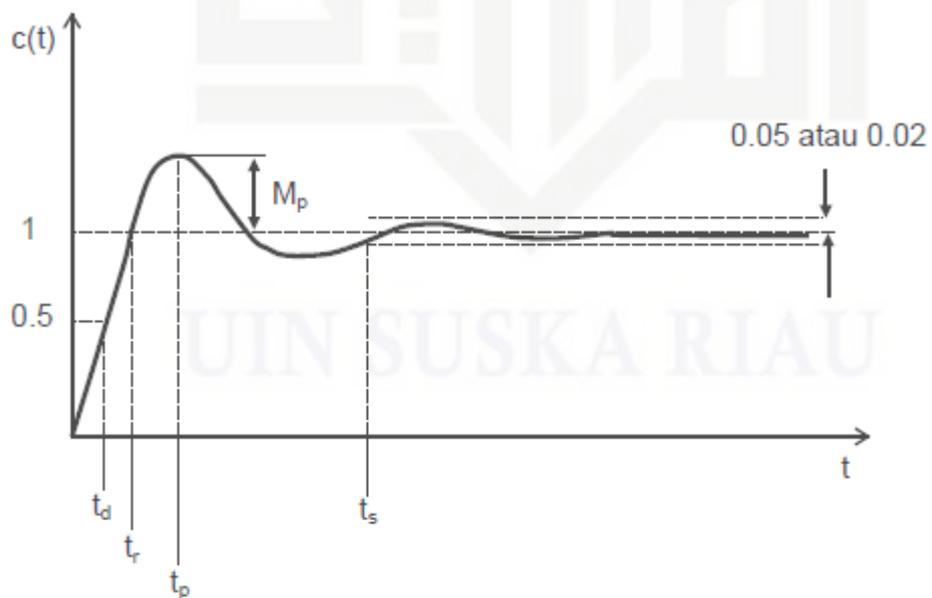
Adalah nilai puncak maksimum dari tanggapan diukur dari nilai akhir dari tanggapan. Biasanya dirumuskan dalam persentase :

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

5. Waktu *settling* (*settling time*), t_s :

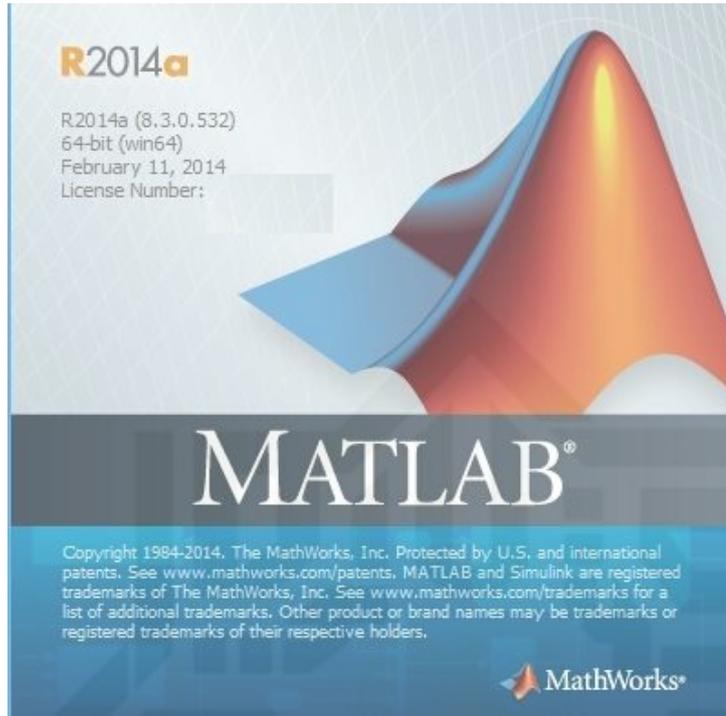
Adalah waktu yang dibutuhkan tanggapan untuk mencapai nilai akhir dari tanggapan dan tetap berada pada nilai tersebut dalam range persentase tertentu dari nilai akhir (biasanya 5% atau 2%)[15].

Spesifikasi tanggapan transien untuk masukan fungsi *unit – step* dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.7 Spesifikasi Tanggapan Respons Transien [15]

2.2.9 Matlab



Gambar 2.8. Tampilan MATLAB R2014a [16]

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah lingkungan komputasi numerikal dan bahasa pemrograman komputer generasi keempat. Dikembangkan oleh *The MathWorks*, MATLAB memungkinkan manipulasi matriks, pemplot-an fungsi dan data, implementasi algoritma, pembuatan antarmuka pengguna, dan pengantarmukaan dengan program dalam bahasa lainnya. Meskipun hanya bernuansa numerik, sebuah kotak kakas (*toolbox*) yang menggunakan mesin simbolik MuPAD, memungkinkan akses terhadap kemampuan aljabar komputer. Sebuah paket tambahan, Simulink, menambahkan simulasi grafis multiranah dan Desain berdasar model untuk sistem terlekat dan dinamik.[16]

Pada tahun 2004, *MathWorks* mengklaim bahwa MATLAB telah dimanfaatkan oleh lebih dari satu juta pengguna di dunia pendidikan dan industri. MATLAB (yang berarti "*matrix laboratory*") diciptakan pada akhir tahun 1970-an oleh Cleve Moler, yang kemudian menjadi Ketua Departemen Ilmu Komputer di Universitas New Mexico. Ia merancangnyanya untuk memberikan akses bagi mahasiswa dalam memakai LINPACK dan EISPACK tanpa harus mempelajari Fortran.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Karyanya itu segera menyebar ke universitas-universitas lain dan memperoleh sambutan hangat di kalangan komunitas matematika terapan. Jack Little, seorang insinyur, dipertemukan dengan karyanya tersebut selama kunjungan Moler ke Universitas *Stanford* pada tahun 1983. Menyadari potensi komersialnya, ia bergabung dengan *Moler* dan *Steve Bangert*. Mereka menulis ulang MATLAB dalam bahasa pemrograman C, kemudian mendirikan *The MathWorks* pada tahun 1984 untuk melanjutkan pengembangannya. Pustaka yang ditulis ulang tadi kini dikenal dengan nama JACKPAC. Pada tahun 2000, MATLAB ditulis ulang dengan pemakaian sekumpulan pustaka baru untuk manipulasi matriks, LAPACK. [16]

MATLAB pertama kali diadopsi oleh insinyur rancangan kendali (yang juga spesialisasi Little), tetapi lalu menyebar secara cepat ke berbagai bidang lain. Kini juga digunakan di bidang pendidikan, khususnya dalam pengajaran aljabar linear dan analisis numerik, serta populer di kalangan ilmuwan yang menekuni bidang pengolahan citra [16].

Fungsi – fungsi yang digunakan MATLAB :

1. Fungsi Matematika.
2. Fungsi Fisika.
3. Fungsi Statistik.
4. Fungsi Visualisasi.

MATLAB adalah salah satu dari beberapa *software* yang biasa digunakan baik itu penggunaan yang digunakan dalam skala kecil maupun skala besar contohnya sebagai berikut [16].

1. Untuk dunia pendidikan (dalam melakukan riset atau mengembangkan beberapa hasil riset yang sudah ada).
2. Untuk para Ilmuwan atau Matematikawan yang sedang atau ingin melakukan sebuah riset atau penelitian.
3. Praktisi dan Insinyur serta untuk siapa saja yang memerlukan tanpa adanya batasan.