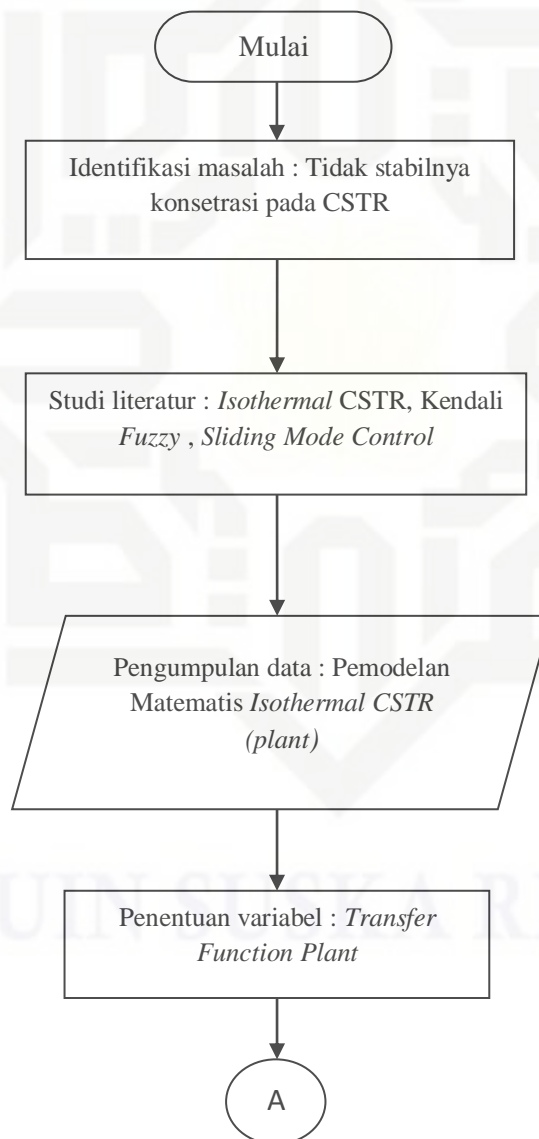


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yang akan dilalui atau langkah – langkah yang akan peneliti lakukan mulai dari proses pemodelan matematis dari suatu sistem sampai ke percangan pengendali hingga hasil akhir dari penelitian tugas akhir ini. Adapun tahapan yang akan dilakukan sebagai berikut :



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.

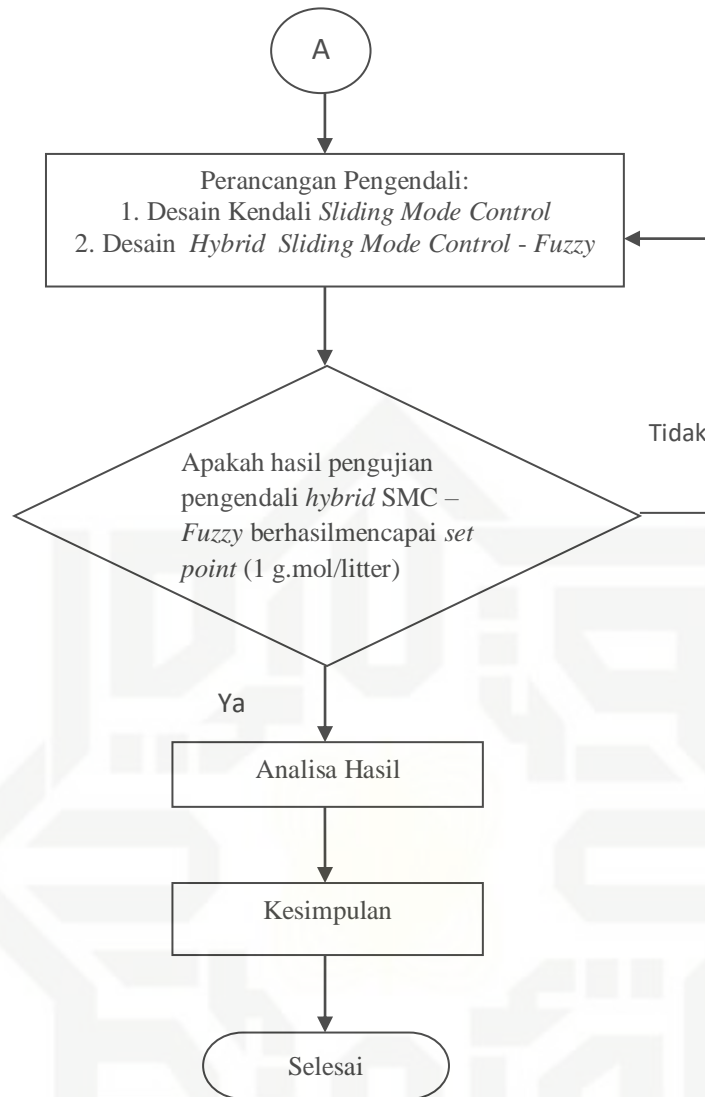
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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 3.1 *Flow Chart* Penelitian

Unutk mendapatkan hasil yang diharapkan, maka ada tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut :

Keterangan *Flow Chart* Penelitian

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi Masalah: Pada tahap ini hal yang pertama dilakukan ialah menentukan permasalahan yang akan diangkat pada Tugas Akhir ini, dimana masalah yang ingin diselesaikan ialah mengatasi ketidakstabilan yang terjadi pada konsentrasi, pada sistem *isothermal CSTR*.

2. Studi Literatur

Studi literatur dibutuhkan untuk mengumpulkan bahan referensi yang berhubungan dengan penyelesaian permasalahan yang dibutuhkan yang meliputi pada pemodelan matematis dari *isothermal CSTR*, pengendali *sliding mode control*, pengendali *fuzzy logic controller*, *hybrid* pengendali *sliding mode control* dan *fuzzy logic controller*.

3. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini perlu dilakukannya pemodalan terhadap *transfer function* dimana *plant transfer function* diperoleh berdasarkan data yang telah dikumpulkan, dan selanjutnya menentukan nilai terhadap t_s , t_r , t_d , dan e_{ss} dari hasil simulasi menggunakan *software* Matlab R2014a

4. Perancangan pengendali

Pada tahapan ini perancangan pengendali dimulai dengan merancang pengendali *sliding mode control*, lalu melakukan kombinasi menggunakan pengendali *fuzzy logic controller*.

5. Analisa hasil

Pada tahap ini selanjutnya dilakukan analisis hasil pengujian dan mengklarifikasi hasil tersebut terhadap tujuan yang diharapkan. Apabila hasil telah memenuhi tujuan yang diharapkan berarti penelitian berhasil.

6. Kesimpulan

Setelah semua tahap dilakukan dan didapatkan hasil dengan tujuan yang telah tercapai maka akan ditariklah kesimpulan guna untuk mempertegas dan memperjelas bahwa gagasan yang diusulkan atau dikerjakan dalam bentuk penelitian telah selesai dilaksanakan.

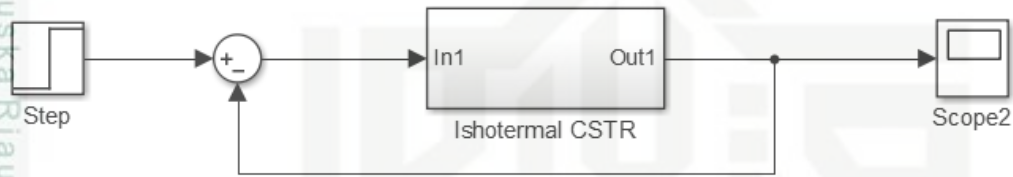
3.2 Pemodelan *isothermal CSTR*

Pada bab II sebelumnya sudah di jelaskan persamaan matematis untuk pemodelan *plant* dari *Isothermal CSTR* yang ada pada persamaan (2.39) dari persamaan tersebut akan didapatkan fungsi transfernya dari sistem tersebut variabel yang akan dikendalikan iyalah konsentrasinya. Oleh sebab itu perlu adanya

pengujian untuk *open loop* sistem tersebut pada MATLAB *simulink* dengan menggunakan *transfer function* yang di dapat dari persamaan (2.40) sebagai berikut :

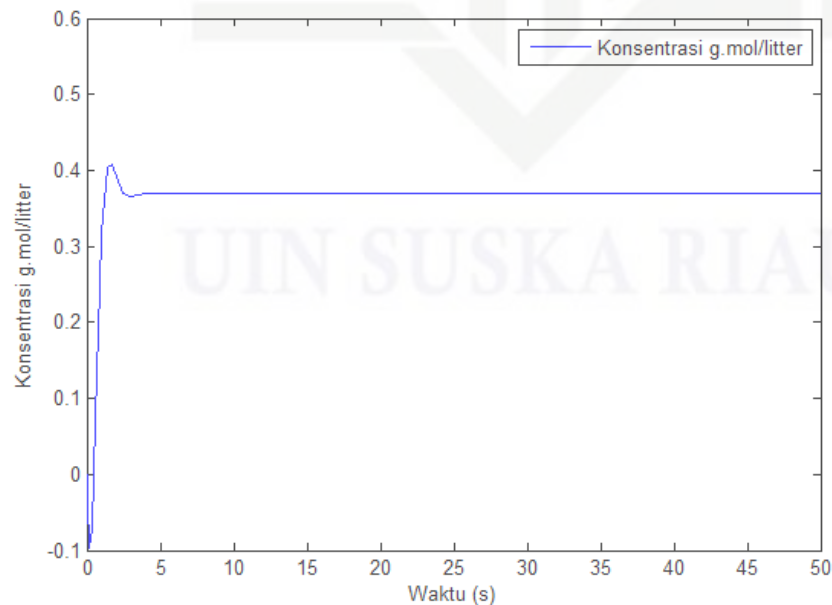
$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{-1.1170s + 3.1472}{s^2 + 4.6429s + 5.3821} \quad (3.1)$$

Dari persamaan (3.1) diatas dapat dibentuk pemodelan *simulink* nya dengan menggunakan *software* MATLAB, seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 *Simulink Open Loop* Sistem *Isothermal CSTR*

Dari gambar 3.2 diatas nilai yang ada pada *plant Isothermal* didapat dari penyelesaian persamaan yang ada pada persamaan (2.40) dengan menggunakan parameter yang ada pada tabel 2.1 setelah sistem *open loop* dibentuk untuk membuktikan bahwa sistem berjalan dengan yang diinginkan dengan me *run* sistem tersebut dan dari tabel *display* dapat dilihat berapa nilai yang dapat dicapai, dan untuk melihat respon nya lebih lanjut dapat dilihat pada *scope*. Pada *scope* akan ditampilkan model grafik dari sistem *open loop* nya.



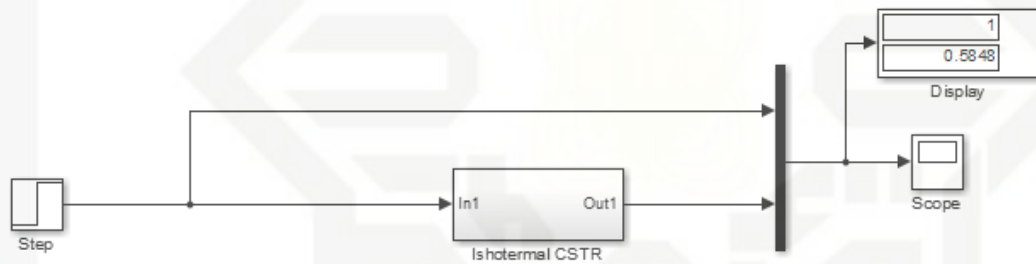
Gambar 3.3 Respon konsentrasi simulasi *open loop Isothermal CSTR*

Dari hasil yang ditampilkan pada gambar 3.3 dapat dilihat grafik keluaran sistem tersebut dapat dianalisa apakah sistem sudah dalam performa yang diinginkan atau belum, namun jika performa yang diharapkan belum mencapai *set point* maka perlu dianalisa terlebih dahulu berapa besaran *error steady state*(*ess*) yang dihasilkan dari sistem tersebut.

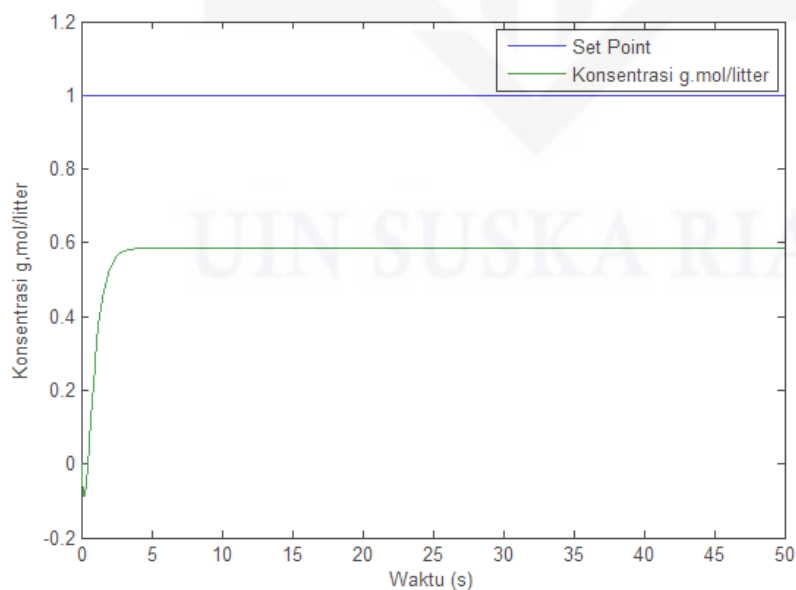
Dari persamaan (3.1), dimana nilai $X(s)$ dan $U(s)$ transformasi laplace dikontrol dan dimanipulasi masing – masing variabel, disini variabel yang di manipulasi $F/V = D$. C_A, C_B adalah variabel *state* dan C_{Af} adalah *input* gangguan dan C_B adalah variabel kendali.

3.3 Identifikasi FOPDT (*First Order Plus Dead Time*)

Dimana pada tahap pemodelan *plant* nya diperlukan *response* terhadap hasil dengan menghilangkan kontribusi *feedback* pada sistem kontinue, karena langkah pada metode ini diperlukan *step* tunggal untuk *input* seperti gambar *simulink* 3.4 dan



Gambar 3.4 Simulink *step* tunggal pada *input*



Gambar 3.5 Hasil Respon Dengan *Step* Tunggal

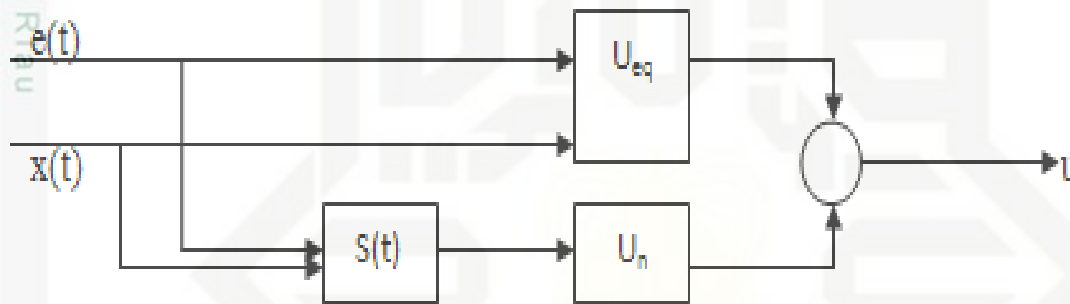
Selanjutnya diidentifikasi dengan menggunakan persamaan matematis pada FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{K_p e^{-t_0 s}}{\tau_p \cdot s + 1} \quad (3.2)$$

Berdasarkan hasil *simulink* pada gambar 3.4 sebelumnya didapat hasil untuk persamaan matematis pada model FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) sebagai berikut :

3.4 Perancangan Pengendali

3.4.1 Perancangan Pengendali *Sliding Mode Control (SMC)*



Gambar 3.6 Skematik *Sliding mode control*

Dalam merancang *sliding mode control* yang pertama dilakukan yaitu agar bisa mencapai permukaan (*surface*) yang diinginkan dimana dinamika sistem pengendali pada *sliding surface* ialah menentukan aturan kontrol pada *sliding mode control* terlebih dahulu. Dimana $S(t)$ untuk mewakili perilaku keseluruhan yang diinginkan untuk *tracking* performa, dimana persamaan untuk $S(t)$ sebagai berikut:

$$S(t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n-1} e \quad (3.3)$$

Dimana $e(t)$ adalah *tracking error*, sementara λ adalah parameter *tuning* dan n adalah urutan/orde dari sistem. Tujuannya adalah untuk membuat *state (error)* bergerak pada *switching surface* $S(t) = 0$ ketika nilai referensi tercapai, $S(t)$ adalah nilai konstan untuk membuat $S(t)$ kontan yaitu dengan membuat $e(t) = 0$ disetiap kondisi.

Langkah kedua adalah merancang aturan kontrol yang akan menggerakkan variabel terkontrol ke nilai referensinya dan aturan kontrol SMC dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$u(t) = u_{eq}(t) + u_n(t) \quad (3.4)$$

Dimana untuk mendapatkan nilai $u_d(t)$ dengan menggabungkan elemen *non linier* yang mencakup elemen *switching* dari aturan – aturan kontrol yang diberikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$u_n(t) = K_d \frac{s(t)}{|s(t)| + \alpha} \quad (3.5)$$

Dimana *sliding function*

$$S(t) = \text{sign}(k) \left[\frac{dx(t)}{dt} + \lambda e \right] \quad (3.6)$$

Dengan K_d sebagai parameter *tuning* yang bertanggung jawab untuk mencapai mode dan α diganti dengan *saturation* digunakan untuk mengurangi *chattering*. Dimana $K_d = -16$ dan $\alpha = 20$ yang didapatkan menggunakan metode *trial and error*.

Selanjutnya menentukan persamaan sinyal ekuivalen dimana pertama menentukan domain waktu pada pengendali *sliding mode* berdasarkan *linearisasi* dari sistem *nonlinier* dengan menggunakan persamaan dengan metode FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) pada persamaan 3.2 yang direpresentasikan mengikuti persamaan berikut:

$$G_m(s) = G_m^+(s).G_m^-(s) \quad (3.7)$$

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.

$$G_m^+(s) = e^{-t_{op}s} \quad (3.8)$$

$$G_m^-(s) = \frac{K_p}{\tau_p s + 1} \quad (3.9)$$

Dimana pada persamaan ini dibuat dalam bentuk bebas penundaan $G_m^-(s)$ diperoleh sebuah persamaan tanpa *dead time* atau *delay*, dengan demikian, desain pengendali disederhanakan dengan menggunakan pendekatan yang serupa dengan *sliding mode control* konvensional (tanpa menggunakan penundaan) dengan menggunakan aturan permukaan luncur yang sudah ditentukan .

Selanjutnya untuk menentukan domain waktunya persamaan (3.9) diatas didiferensialkan sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{K_p}{\tau_p s + 1} \quad (3.10)$$

$$U(t) = \frac{1}{K_p} \left(\tau_p \frac{dx}{dt}(t) + x(t) \right) \quad (3.11)$$

$$U(t) = \frac{\tau_p}{K_p} \frac{dx}{dt}(t) + \frac{x}{K_p}(t) \quad (3.12)$$

Selanjutnya representasikan sebuah sistem untuk permukaan luncur dari aturan *switching* yang digunakan sebagai berikut :

$$S(t) = \frac{d}{dt} e + \lambda e \quad (3.13)$$

$$S(t) = \frac{d}{dt} e + \lambda e = 0 \quad (3.14)$$

Signal error $e(t)$ adalah perbedaan antara nilai referensi dengan nilai pada variabel yang diukur dan dapat direpresentasikan sebagai berikut :

$$e(t) = r(t) - x(t) \quad (3.15)$$

Untuk menentukan sinyal ekuivalen dari *sliding mode control* langkah selanjutnya ialah gunakan persamaan 3.15 ke dalam persamaan 3.14 dengan nilai referensi konstan dan nilai variabel proses yang bervariasi seiring waktu :

$$\frac{d(r(t) - x(t))}{dt} + \lambda e = 0 \quad (3.16)$$

$$-\frac{d(x)}{dt}(t) + \lambda e = 0 \tag{3.17}$$

$$\frac{dx}{dt} = \lambda e(t) \tag{3.18}$$

Selanjutnya substitusikan persamaan 3.18 ke persamaan 3.12 dan dapat diberikan bagian pengendali kontinue sebagai berikut:

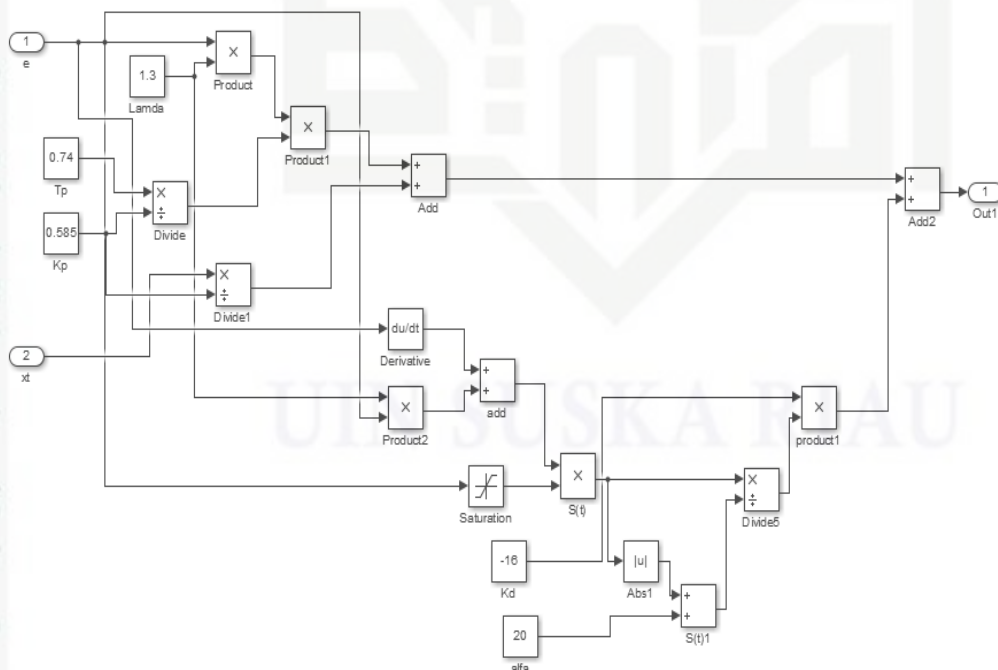
$$U_{eq}(t) = \frac{\tau_p}{K_p} \cdot \lambda e + \frac{x}{K_p} \tag{3.19}$$

Untuk mendapatkan persamaan U total untuk pengendali *sliding mode control* dimana bagian kontinyu dan bagian terputus dari persamaan pengontrol ditambahkan untuk mendapatkan persamaan pengendali yang lengkap sebagai berikut.

$$U_{total} = U_n + U_{eq} \tag{3.20}$$

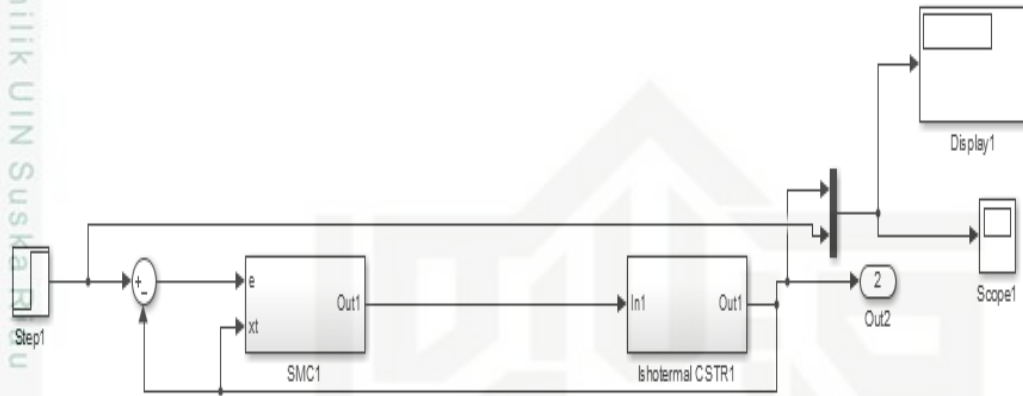
$$U_{total} = K_d \frac{s(t)}{|s(t)| + \alpha} + \left[\frac{\tau_p}{K_p} \lambda e + \frac{x}{K_p} \right] \tag{3.21}$$

Setelah didapatkan persamaan untuk pemodelan blok sistem untuk U total selanjutnya dibuat pemodelan *Isothermal CSTR* dengan pengendali *Sliding Mode Control* yang akan direpresntasikan pada gambar 3.8 sebagai berikut.



Gambar 3.7 Pemodelan Blok Simulink Dari Persamaan Utotall

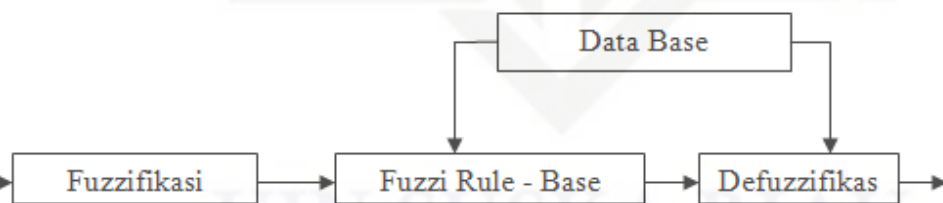
Adapun dari blok simulink persamaan Uttotal pada gambar 3.7 selanjutnya dapatlah kita bentuk selanjutnya blok simulink untuk pengendali sistem *isothermal cstr* nantinya yang berfungsi untuk mengendalikan keadaan pada *set point* dari nilai konsentrasi yang akan di kendalikan yang dimana akan direpresentasikan kedalam bentuk blok simulink yang ada pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Pemodelan *Sliding Mode Control* Pada *Plant System Isothermal CSTR*

Setelah terbentuk pemodelan blok *simulink* nya, selanjutnya sistem sudah dapat dijalankan agara hasil respon keluarannya dapat di analisa lebih lanjut untuk mengetahui *error steady state* yang ada dan kekurangan – kekurangan yang ada.

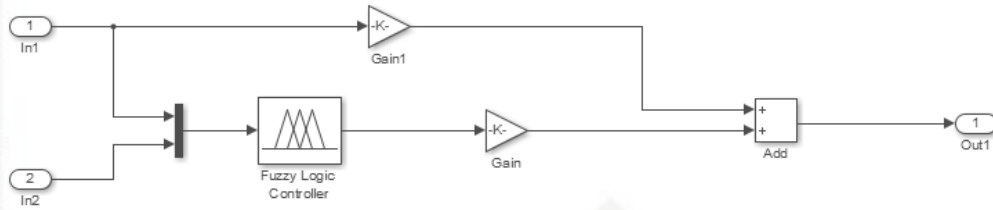
3.4.2 Perancangan Pengendali *Hybrid Sliding Mode Control & Fuzzy Logic*



Gambar 3.9 Struktur dasar dari *Fuzzy Logic Controller*

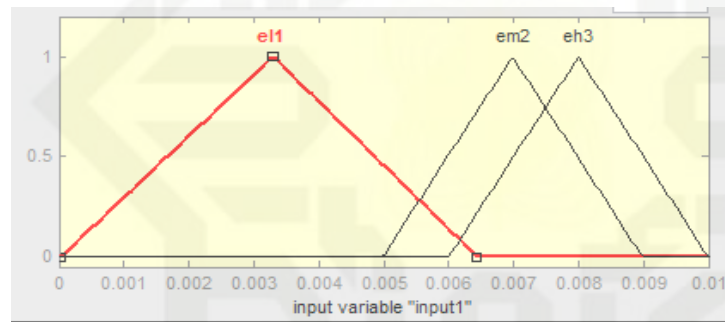
Pada pemodelan pengendali dimana nilai masukan untuk fungsi anggota *error* akan di dapatkan dari keluaran sistem tersebut yang di kurangi dengan nilai *set point* yang telah ditentukan.

Sementara untuk nilai pada masukkan *delta error* didapatkan dari nilai keluaran pada sistem tersebut adapun skemanya dapat dilihat pada *plant* seperti yang ada pada gambar 3.10 berikut ini:



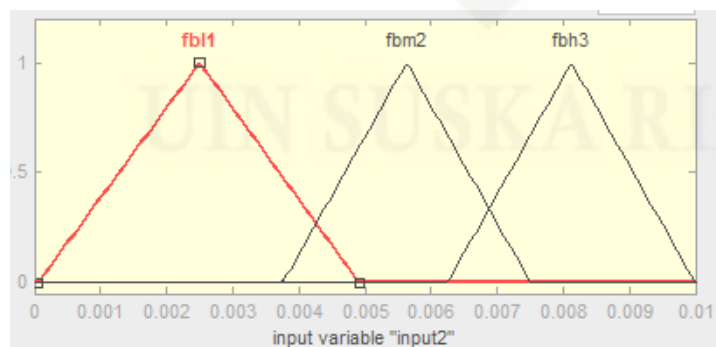
Gambar 3.10 Pemodelan Pengendali *Fuzzy Logic controller*

Dari gambar 3.10 dimana FIS (*Fuzzy Invariant System*) yang digunakan menggunakan 2 *input* dimana *input* tersebut akan menjadi fungsi keanggotaan adapun fungsi keanggotaan pertama yaitu fungsi untuk keanggotaan *error* dapat dilihat seperti gambar 3.11 berikut ini.



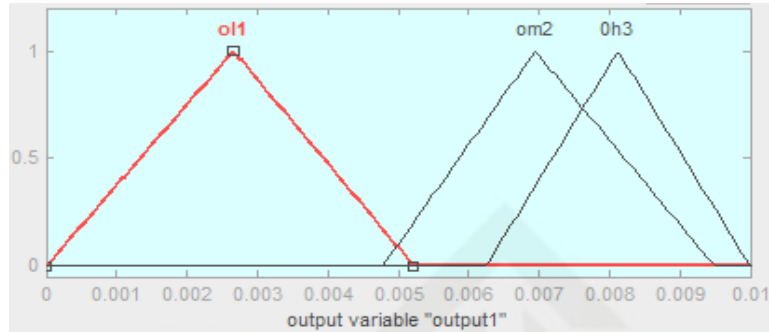
Gambar 3.11 Fungsi Keanggotaan *Error*

Sementara untuk fungsi keanggotaan *delta error* direpresentasikan seperti gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3.12 Fungsi Keanggotaan *Delta Error*

Sedangkan untuk variabel keluaran juga memiliki tiga fungsi keanggotaan sebagai kontrol dalam mengendalikan nilai konsentrasi dan fungsi variabel keluaran tersebut seperti gambar 3.13 berikut.



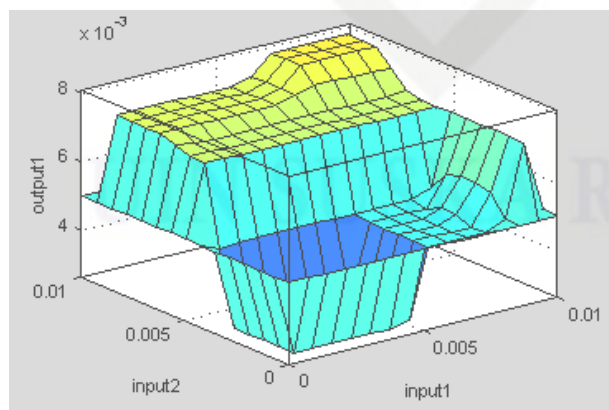
Gambar 3.13 Fungsi Keanggotaan Keluaran *Fuzzy*

Pada perancangan ini dapat menggunakan aturan *Rule – Base* seperti gambar 3.14 sebagai kumpulan data yang akan diterapkan sebagai aturan *fuzzy* dimana aturan tersebut dapat dilihat seperti gambar 3.14.

```

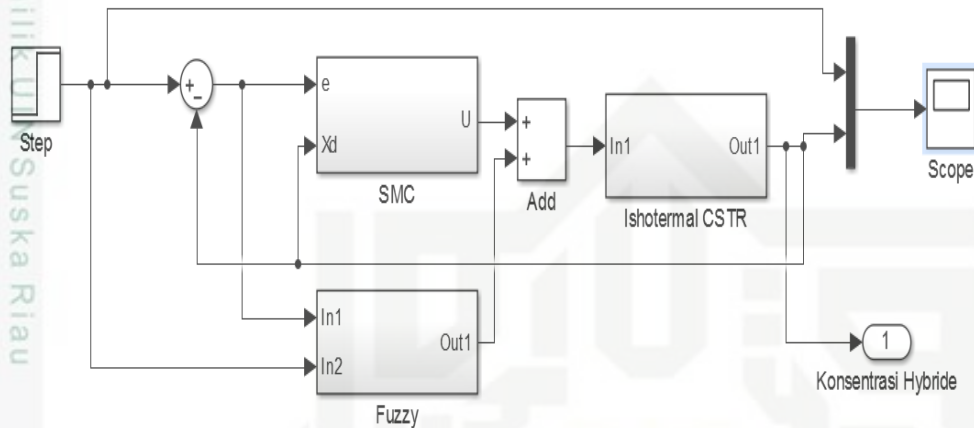
1. If (input1 is eh1) and (input2 is fb1) then (output1 is oh1) (1)
2. If (input1 is eh1) and (input2 is fbm2) then (output1 is om2) (1)
3. If (input1 is eh1) and (input2 is fbh3) then (output1 is om2) (1)
4. If (input1 is eh1) and (input2 is fbh3) then (output1 is oh3) (1)
5. If (input1 is em2) and (input2 is fb1) then (output1 is oh1) (1)
6. If (input1 is em2) and (input2 is fb1) then (output1 is om2) (1)
7. If (input1 is em2) and (input2 is fbm2) then (output1 is om2) (1)
8. If (input1 is em2) and (input2 is fbh3) then (output1 is oh3) (1)
9. If (input1 is eh3) and (input2 is fb1) then (output1 is om2) (1)
10. If (input1 is eh3) and (input2 is fbm2) then (output1 is om2) (1)
11. If (input1 is eh3) and (input2 is fbh3) then (output1 is oh3) (1)
    
```

Gambar 3.14 *Fuzzy If – Then rules*



Gambar 3.15 Model *Interface* dari *Fuzzy Logic Controller*

Dimana aturan *Fuzzy If – Then rules* diperlukan untuk mendapatkan hasil untuk nilai *rules* yang sudah ditentukan. Selanjutnya setelah itu barulah pengendali *Fuzzy Logic controller* kemudian di *hybrid* dengan pengendali *sliding mode control* berikut adalah bentuk dari pemodelan dari *hybrid* pengendali *sliding mode control* dan *fuzzy logic controller* yang direpresentasikan pada gambar 3.16.

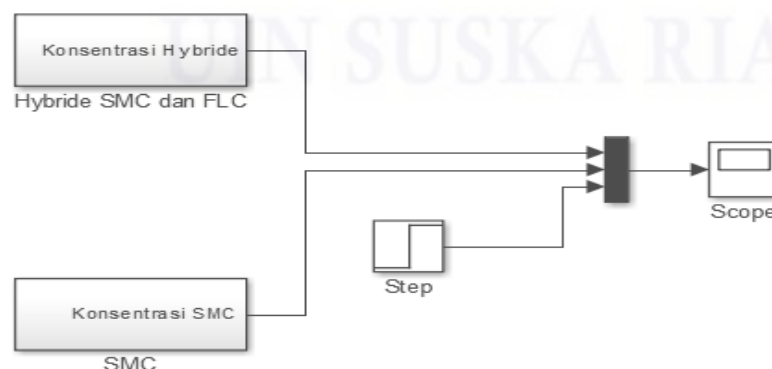


Gambar 3.16 Pemodelan Pengendalian *Isothermal CSTR* dengan Pengendali *SMC Hybrid Fuzzy Logic*

Dari pemodelan blok *simulink* pada sistem Pengendalian *Isothermal CSTR* dengan pengendali *SMC Hybrid Fuzzy Logic* barulah di dapatkan keluaran yang nantinya akan dapat di analisa kembali.

3.4.3 Perbandingan Pengendali *Sliding Mode Control* dengan Pengendali *Fuzzy Hybrid Sliding Mode*

Setelah didapatkan blok sistem untuk pengendali *sliding mode control* dan juga blok sistem pengendali *hybrid sliding mode control* dan *fuzzy logic* barulah dapat dibuat blok sistemnya sebagai berikut .



Gambar 3.17 Pemodelan Blok Sistem *Sliding Mode Control* dengan Pengendali *Fuzzy Hybrid Sliding Mode Control*

Selanjutnya dari Pemodelan Blok Sistem *Sliding Mode Control* dengan Pengendali *Hybrid Sliding Mode Control* dan *Fuzzy Logic Controller* dengan membanding respon keluaran dari setiap sistem yang kemudian dapat dianalisa performa *error steady state* nya.

3.5 Analisa Data

Pengujian sistem dilakukan secara simulasi. Simulasi dilakukan bertujuan untuk mengetahui performansi sistem *isothermal CSTR* setelah dipasang pengendali SMC dan *Hybrid SMC-Fuzzy* tanpa gangguan. Dari hasil simulasi diperoleh analisa mengenai pengendali dalam mencapai *set point* yang diinginkan. Adapun beberapa analisa yang akan dilakukan yaitu :

1. Analisa respon sistem berupa *time respons* dalam mengendalikan konsentrasi pada sistem *isothermal CSTR* menggunakan pengendali SMC.
2. Analisa respon sistem berupa *time respons* dalam mengendalikan konsentrasi pada sistem *isothermal CSTR* dengan menggunakan pengendali *Hybrid SMC-Fuzzy Logic Controller*
3. Membandingkan performansi konsentrasi pada sistem *isothermal CSTR* menggunakan pengendali SMC pada pengendali *Hybrid SMC-Fuzzy Logic Controller*.

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.