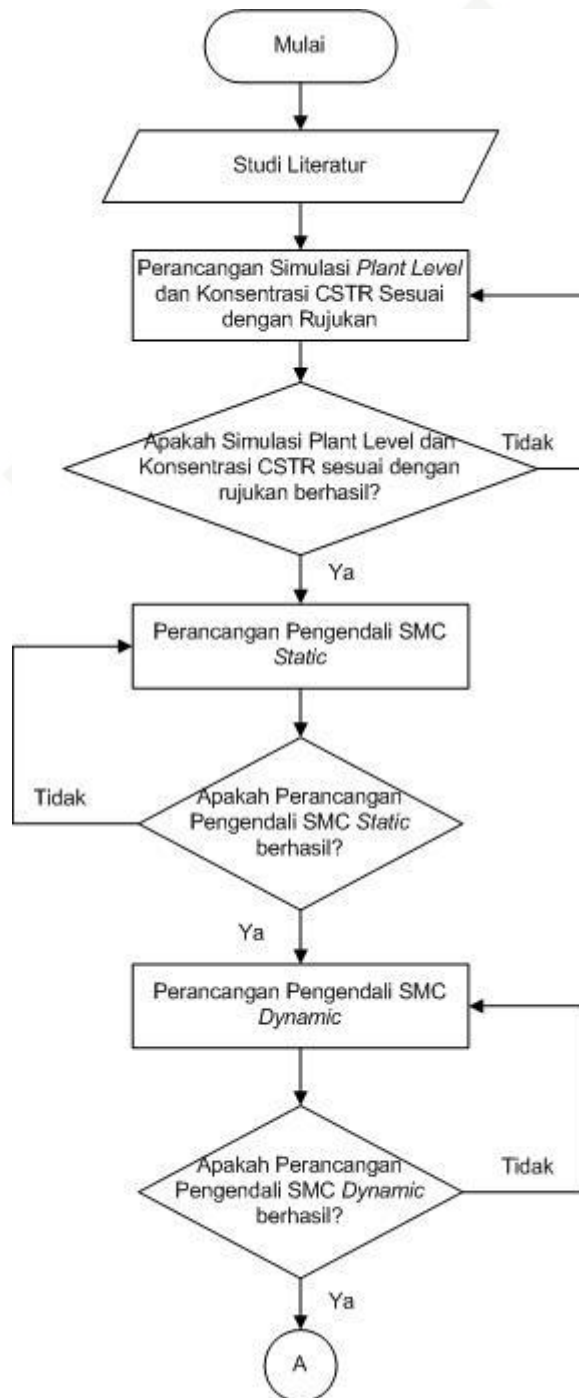


## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Alur Metode Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap atau langkah-langkah yang penulis lakukan, mulai dari studi literatur hingga hasil akhir dalam penelitian tugas akhir ini. Adapun tahap yang dilakukan sebagai berikut :

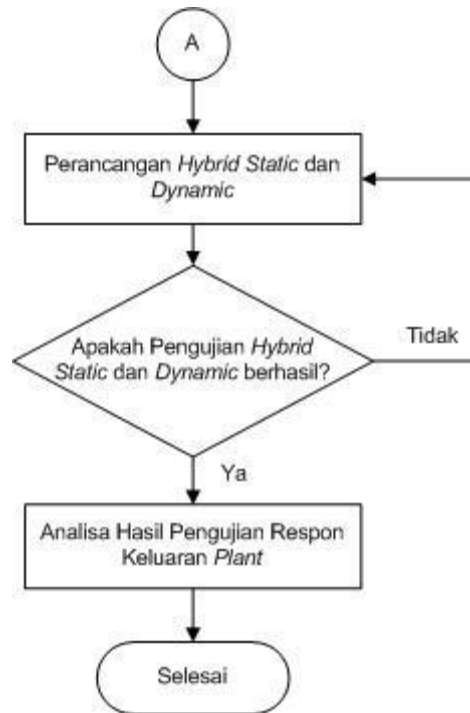


Hak Cipta Dimiliki UIN Suska Riau

1. Dilarang menyalin 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

### 3.2 Tahapan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, dibutuhkan sebuah perencanaan agar penelitian ini dalam pengerjaannya sesuai dengan yang diharapkan diawal. Perencanaan dalam penelitian ini meliputi pengujian plant, penentuan judul sampai dengan tujuan yang diinginkan dari suatu penelitian sehingga terdapat beberapa tahap perencanaan yang harus dilakukan yaitu :

#### 1. Studi literatur

Melakukan *review*/telaah beberapa pustaka dan penelitian terkait, baik dari atrikel penelitian yang telah dipublikasikan maupun buku yang diterbitkan mengenai pemodelan matematis *continuous stirred tank reactor*, pemodelan matematis *decoupler*, pengendali *sliding mode controller*, dan pengendali *static dan dynamic sliding mode controller*.

#### 2. Perancangan simulasi *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)

Pada tahap ini dilakukan desain mode matematis *continuous stirred tank reactor* (CSTR) pada simulasi MATLAB. Setelah perancangan simulink dibuat, maka didapat hasil *open loop* dari *plant*. Hasil *open loop* ini akan diuji dan dianalisa pada tahapan pengujian CSTR.

#### 3. Pengujian simulasi *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan *decoupler*

Pemodelan yang telah didesain pada simulink MATLAB telah diuji dengan memberikan sinyal input pada *plant* sebelum mendesain pengendali dan diamati respon keluaran *plant*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah pemodelan sudah sesuai dengan



referensi dan memverifikasi formulasi yang digunakan telah sesuai untuk sistem kendali yang akan didesain. Apabila belum sesuai dengan referensi, maka penelitian akan melakukan kembali pemodelan *plant*, dan apabila telah sesuai maka penelitian selanjutnya adalah mendesain pengendali.

#### 4. Perancangan pengendali SMC *static*

Pada tahap ini, lakukan terlebih dahulu penurunan rumus SMC *static* pada *continuous stirred tank reactor* (CSTR). Setelah itu lakukan desain berdasarkan penurunan rumus SMC *static* tersebut.

#### 5. Pengujian perancangan pengendali SMC *static*

Pemodelan yang telah didesain pada simulink MATLAB akan diuji dan dianalisa untuk mengetahui apakah pemodelan ini sudah mencapai *setpoint* yang diinginkan. Apabila *plant* tidak mencapai *setpoint* maka akan dilakukan kembali perancangan pengendali SMC *static*, dan apabila telah sesuai maka penelitian selanjutnya adalah melakukan perancangan pengendali SMC *dynamic*.

#### 6. Perancangan pengendali SMC *dynamic*

Pada tahap ini, lakukan terlebih dahulu penurunan rumus SMC *dynamic* pada *continuous stirred tank reactor* (CSTR). Setelah itu lakukan desain berdasarkan penurunan rumus SMC *dynamic* tersebut.

#### 7. Pengujian perancangan pengendali SMC *static*

Pemodelan yang telah didesain pada simulink MATLAB akan diuji dan dianalisa untuk mengetahui apakah pemodelan ini sudah mencapai *setpoint* yang diinginkan. Apabila *plant* tidak mencapai *setpoint* maka akan dilakukan kembali perancangan pengendali SMC *dynamic*, dan apabila telah sesuai maka penelitian selanjutnya adalah melakukan perancangan *hybrid static* dan *dynamic*.

#### 8. Perancangan *hybrid static* dan *dynamic* pada CSTR

Setelah melakukan penurunan rumus dan mendesain SMC *static* dan *dynamic*. Maka pada tahap ini akan mengkombinasikan (*hybrid*) SMC *static* dan SMC *dynamic*. Pada penelitian ini akan dilakukan pencarian nilai  $\eta$  dan nilai  $\lambda$ . Hal ini dilakukan untuk mencari performansi yang paling baik untuk perancangan *hybrid static* dan *dynamic* SMC.

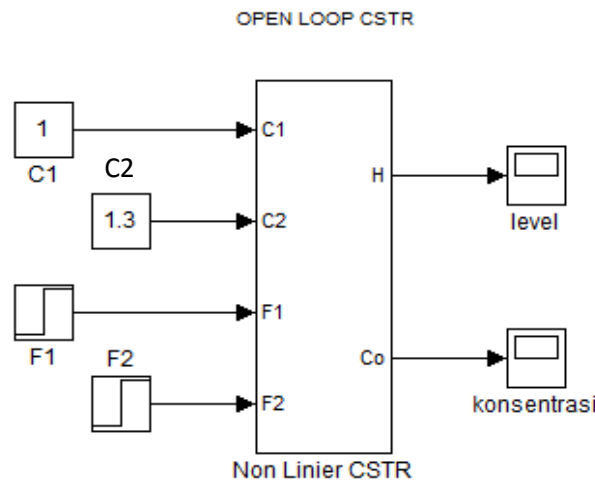
#### 9. Analisa hasil pengujian berdasarkan respon keluaran *plant*

Setelah dilakukan perancangan pengendali *hybrid static* dan *dynamic*, maka akan didapat respon keluaran *plant* berupa grafik yang menunjukkan variabel *level* dan konsentrasi *continuous stirred tank reactor* (CSTR). Respon keluaran *plant* akan dianalisis berdasarkan respon transien dan respon *steady state*.

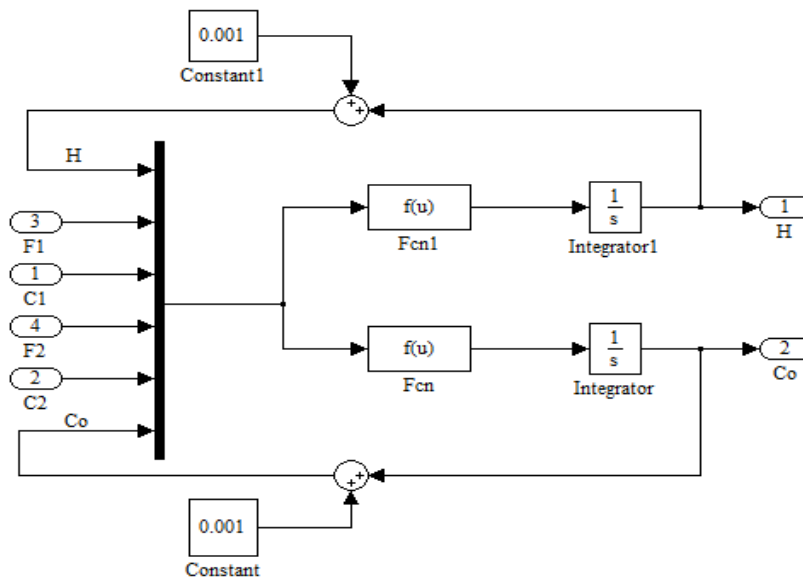
### 3.3 Pengujian *Open Loop* pada CSTR

Sistem CSTR seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar (2.1) memiliki dua buah masukan yaitu laju aliran ( $F_1$ ) dengan konsentrasi ( $C_1$ ) dan laju aliran ( $F_2$ ) dengan konsentrasi ( $C_2$ ). Keluaran pada CSTR adalah  $F_0$  yang mempengaruhi *level* dalam tangki, dengan asumsi *fluida* dalam tangki sudah bercampur dengan sempurna maka aliran *fluida* keluaran memiliki konsentrasi  $C_0$  yang sama dengan konsentrasi yang berada di dalam tangki.

Pengujian *open loop* pengendalian *level* dan konsentrasi dirancang berdasarkan persamaan (2.12) dan (2.21) dengan parameter proses yang telah ditunjukkan pada tabel (2.1). Nilai  $C_2$  sebesar 1,3 dibuat berdasarkan rujukan sebelumnya[11], agar hasil keluaran sesuai dengan rujukan. Dari pemodelan matematis tersebut, akan diimplementasikan ke dalam *simulink* matlab.



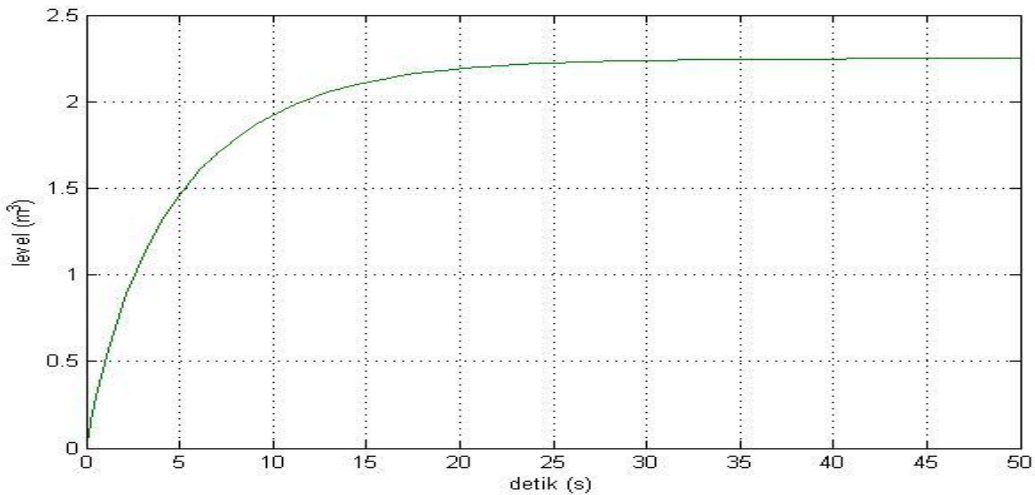
Gambar 3.2 Diagram Blok *Open Loop* CSTR



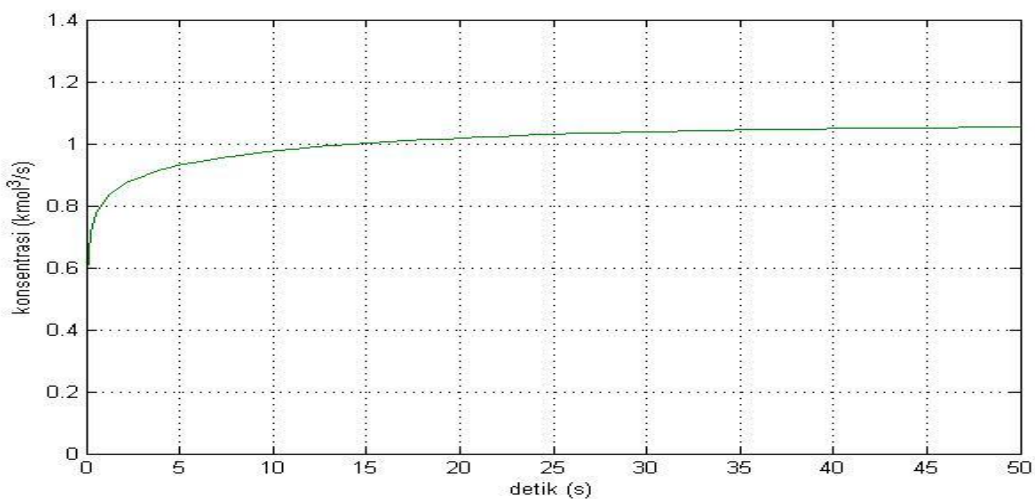
Gambar 3.3 *Subsystem Plant*

Pada Gambar 3.3 terdapat angka *constant* sebesar 0,001 pada H dan  $C_0$ . Hal ini dikarenakan H dan  $C_0$  yang telah digunakan sebagai *output* akan digunakan kembali sebagai *input*. Jika tidak diberikan penambahan waktu sebesar 0,001 maka program akan terus menghitung, dan kejadian ini disebut dengan *looping*.

Setelah dirancang blok diagram seperti gambar 3.2 dan gambar 3.3, selanjutnya program akan dijalankan dan akan menampilkan grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 dan gambar 3.5.



Gambar 3.4 Respon Keluaran *Open Loop Level* pada CSTR



Gambar 3.5 Respon Keluaran *Open Loop Konsentrasi* pada CSTR

### 3.4 Perancangan Pengendali SMC

Untuk mendapatkan persamaan pengendalian *level*, dapat dilakukan dengan mensubstitusikan persamaan (2.12) dan (2.22), sehingga didapat persamaan :



$$\dot{h} = \frac{F_{in}}{A} - \frac{k}{A} \sqrt{H} \tag{3.1}$$

Untuk mendapatkan persamaan pengendalian konsentrasi, dapat dilakukan dengan mensubstitusikan persamaan (2.13), (2.22), dan (2.23) sehingga didapat persamaan :

$$\dot{C}_0 = \frac{1}{H} \left( \frac{C_{in} F_{in}}{A} \right) - \left( \frac{C_0 F_{in}}{A} \right) \tag{3.2}$$

Misalkan :

$$\begin{aligned} \frac{1}{A} a_1 &= b_1 & -\frac{k}{A} &= b_1 \\ \frac{C_0 F_{in}}{H} &= a_2 & \frac{F_{in}}{AH} &= c \end{aligned}$$

Maka dapat dituliskan :

$$\dot{h} = F_{in} a_1 + b_1 \sqrt{H} \tag{3.3}$$

$$\dot{C}_0 = (C_{in} c - a_2 b_2) \tag{3.4}$$

### 3.4.1 Perancangan Pengendali *Static SMC Level* pada CSTR

*Tracking error* dari *level* adalah :

$$\dot{h} = h - h_d \tag{3.5}$$

Karena sistem berorde satu, maka persamaan (3.5) menjadi bentuk fungsi *switching* :

$$\dot{S} = \dot{h} - \dot{h}_d \tag{3.6}$$

Substitusikan persamaan (3.1) ke (3.6) maka :

$$\dot{S} = F_{in} a_1 + b_1 \sqrt{H} - \dot{h}_d \tag{3.7}$$

Tentukan nilai  $U_{eq}$  atau  $F_{in}$  dari persamaan (3.7) dengan nilai  $\dot{S} = 0$

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.



$$F_{in}a_1 + b_1\sqrt{H} - \dot{h}_d = 0 \tag{3.8}$$

$$F_{in} = \frac{-b_1\sqrt{H} - \dot{h}_d}{a_1} \tag{3.9}$$

Berdasarkan persamaan (2.23) diperoleh sinyal  $u_n$  sebagai berikut :

$$u = u_{eq} + u_N \tag{3.10}$$

Dengan nilai  $U_N$  didapat :

$$\dot{V} = S\dot{S} \tag{3.11}$$

$$\dot{V} = S(a_1F_{in} + b_1\sqrt{H} - \dot{h}_d)$$

$$= S\left(\left[a_1\left\{-\frac{b_1\sqrt{H}}{a_1} + U_n\right\} + b_1\sqrt{H} - \dot{h}_d\right]\right)$$

$$= S(a_1U_n)$$

$$a_1U_n = -\eta \text{sign}(S)$$

$$U_n = -\left|\frac{\eta}{a_1}\right| \text{sign}(S) \tag{3.12}$$

Sehingga sinyal pengendali *level* dengan pengendali *sliding mode* adalah:

$$u = u_{eq} + u_N$$

$$F_{in} = -\frac{b_1\sqrt{H} - \dot{h}_d}{a_1} - \left|\frac{\eta}{a_1}\right| \text{sign}(S) \tag{3.13}$$

Untuk mengurangi *chattering* fungsi *sign* diubah menjadi fungsi *sat*.

$$F_{in} = -\frac{b_1\sqrt{H} - \dot{h}_d}{a_1} - \left|\frac{\eta}{a_1}\right| \text{sat}(S) \tag{3.14}$$

### 3.4.2 Perancangan Pengendali *Static SMC* Konsentrasi pada CSTR

*Tracking error* dari konsentrasi adalah :

$$\dot{C}_0 = C_o - C_d \tag{3.15}$$

Hak Cipta Diindonesia 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 mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Karena sistem berorde satu, maka persamaan (3.15) menjadi bentuk fungsi *switching* :

$$\dot{S} = \dot{C}_0 - \dot{C}_d \quad (3.16)$$

Substitusikan persamaan (3.4) ke (3.16) maka :

$$\dot{S} = (C_{in}c - a_2b_2 - \dot{C}_d) \quad (3.17)$$

Tentukan nilai  $U_{eq}$  atau  $F_{in}$  dari persamaan (3.17) dengan nilai  $\dot{S} = 0$

$$C_{in}c - a_2b_2 - \dot{C}_d = 0 \quad (3.18)$$

$$C_{in} = \frac{a_2b_2 - \dot{C}_d}{c} \quad (3.19)$$

Berdasarkan persamaan (2.23) diperoleh sinyal  $u_n$  sebagai berikut :

$$u = u_{eq} + u_N \quad (3.20)$$

Dengan nilai  $U_N$  didapat :

$$\dot{V} = S\dot{S} \quad (3.21)$$

$$\dot{V} = S(C_{in}c - a_2b_2 - \dot{C}_d)$$

$$S \left( \left[ c \left\{ \frac{a_2b_2}{c} + U_n \right\} - a_2b_2 - \dot{C}_d \right] \right)$$

$$S(cU_n)$$

$$cU_n = -\eta \text{sign}(S)$$

$$U_n = - \left| \frac{\eta}{c} \right| \text{sign}(S) \quad (3.22)$$

Sehingga sinyal pengendali *level* dengan pengendali *sliding mode* adalah:

$$u = u_{eq} + u_N$$

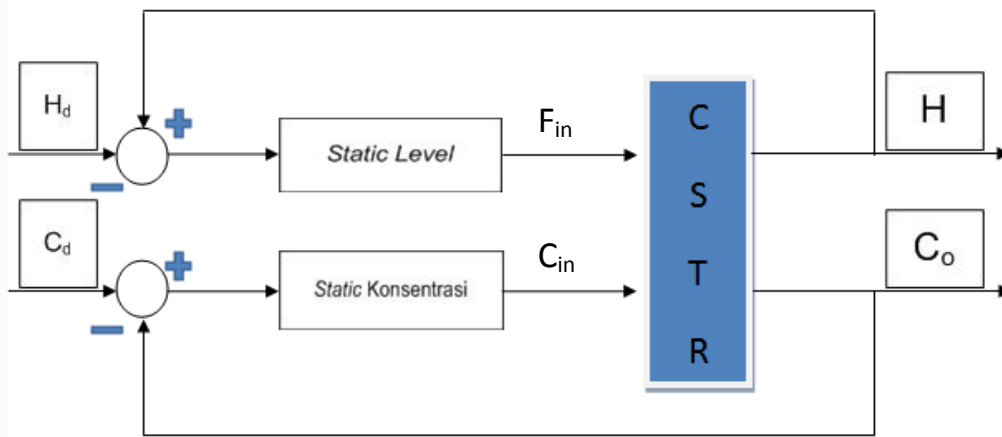


$$C_{in} = \frac{a_2 b_2 - \dot{C}_d}{c} - \left| \frac{\eta}{c} \right| \text{sign}(S) \quad (3.23)$$

Untuk mengurangi *chattering* fungsi *sign* diubah menjadi fungsi *sat*.

$$C_{in} = \frac{a_2 b_2 - \dot{C}_d}{c} - \left| \frac{\eta}{c} \right| \text{sat}(S) \quad (3.24)$$

Dari pemodelan matematis yang telah dibuat, maka berikut adalah diagram blok dari pemodelan *static level* dan konsentrasi secara sederhana dari CSTR.



Gambar 3.6 Diagram Blok *Static SMC Level* dan Konsentrasi

### 3.4.3 Perancangan Pengendali *Dynamic SMC Level* pada CSTR

*Tracking error* dari *level* adalah :

$$\begin{aligned} S &= \dot{e} + \lambda e \\ \dot{S} &= \ddot{e} + \lambda \dot{e} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} e &= h - h_d \\ \dot{e} &= \dot{h} - \dot{h}_d \\ \ddot{e} &= \ddot{h} - \ddot{h}_d \end{aligned}$$

*Tracking error* dari konsentrasi dengan sistem berorde-1 dapat ditulis :

$$\dot{S} = \ddot{h} - \ddot{h}_d + \lambda(\dot{h} - \dot{h}_d) \quad (3.26)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.3) ke (3.26) menjadi :

$$\dot{S} = \ddot{h} - \ddot{h}_d + \lambda(F_{in} a_1 + b_1 \sqrt{H} - \dot{h}_d) \quad (3.27)$$



Tentukan nilai  $U_{eq}$  atau  $F_{in}$  dari persamaan (3.27) dengan nilai  $\dot{S} = 0$

$$\ddot{h} = \ddot{h}_d + \lambda F_{in} a_1 + \lambda b_1 \sqrt{H} - \lambda \dot{h}_d = 0 \quad (3.28)$$

$$F_{in} = \frac{-\ddot{h} + \ddot{h}_d - \lambda b_1 \sqrt{H} + \lambda \dot{h}_d}{a_1 \lambda} \quad (3.29)$$

Berdasarkan persamaan (2.23) diperoleh sinyal  $u_n$  sebagai berikut :

$$u = u_{eq} + u_N \quad (3.30)$$

Dengan nilai  $U_N$  didapat :

$$\dot{V} = S \dot{S} \quad (3.31)$$

$$\dot{V} = S(\ddot{h} - \ddot{h}_d + \lambda F_{in} a_1 + \lambda b_1 \sqrt{H} - \lambda \dot{h}_d)$$

$$= S \left( \ddot{h} - \ddot{h}_d + \lambda a_1 \left[ \left\{ \frac{-\ddot{h} + \ddot{h}_d - \lambda b_1 \sqrt{H} + \lambda \dot{h}_d}{a_1 \lambda} + U_n \right\} + \lambda b_1 \sqrt{H} - \lambda \dot{h}_d \right] \right)$$

$$= S(\lambda a_1 U_n)$$

$$\lambda a_1 U_n = -\eta \text{sign}(S)$$

$$U_n = -\left| \frac{\eta}{\lambda a_1} \right| \text{sign}(S) \quad (3.32)$$

Sehingga sinyal pengendali *level* dengan pengendali *sliding mode* adalah:

$$u = u_{eq} + u_N$$

$$F_{in} = \frac{-\ddot{h} + \ddot{h}_d - \lambda b_1 \sqrt{H} + \lambda \dot{h}_d}{a_1 \lambda} - \left| \frac{\eta}{\lambda a_1} \right| \text{sign}(S) \quad (3.33)$$

Untuk mengurangi *chattering* fungsi *sign* diubah menjadi fungsi *sat*.

$$F_{in} = \frac{-\ddot{h} + \ddot{h}_d - \lambda b_1 \sqrt{H} + \lambda \dot{h}_d}{a_1 \lambda} - \left| \frac{\eta}{\lambda a_1} \right| \text{sat}(S) \quad (3.34)$$

### 3.4.4 Perancangan Pengendali *Dynamic SMC* Konsentrasi pada CSTR

*Tracking error* dari konsentrasi dengan sistem berorde-1 dapat ditulis :

$$\dot{S} = \dot{C}_0 - \dot{C}_d + \lambda(C - C_d) \quad (3.35)$$

Substitusikan (3.4) ke (3.35) maka :

$$\dot{S} = \ddot{C}_0 - \ddot{C}_d + \lambda(C_{in}c - a_2b_2 - \dot{C}_d) \quad (3.36)$$

Tentukan nilai  $U_{eq}$  atau  $F_{in}$  dari persamaan (3.36) dengan nilai  $\dot{S} = 0$

$$\ddot{C}_0 - \ddot{C}_d + \lambda C_{in}c - \lambda a_2b_2 - \lambda \dot{C}_d = 0 \quad (3.37)$$

$$C_{in} = \frac{-\ddot{C}_0 + \ddot{C}_d - \lambda C_{in}c + \lambda a_2b_2 + \lambda \dot{C}_d}{\lambda c} \quad (3.38)$$

Berdasarkan persamaan (2.23) diperoleh sinyal  $u_n$  sebagai berikut :

$$u = u_{eq} + u_N \quad (3.39)$$

Dengan nilai  $U_N$  didapat :

$$\dot{V} = S\dot{S} \quad (3.40)$$

$$\begin{aligned} \dot{V} &= S(\ddot{C}_0 - \ddot{C}_d + \lambda C_{in}c - \lambda a_2b_2 - \lambda \dot{C}_d) \\ &= S\left(\ddot{C}_0 - \ddot{C}_d + \lambda c \left[ \frac{-\ddot{C}_0 + \ddot{C}_d - \lambda C_{in}c + \lambda a_2b_2 + \lambda \dot{C}_d}{\lambda c} + U_n \right] - \lambda a_2b_2 - \lambda \dot{C}_d \right) \\ &= S(\lambda c U_n) \end{aligned}$$

$$\lambda c U_n = -\eta \text{sign}(S)$$

$$U_n = -\left| \frac{\eta}{\lambda c} \right| \text{sign}(S) \quad (3.41)$$

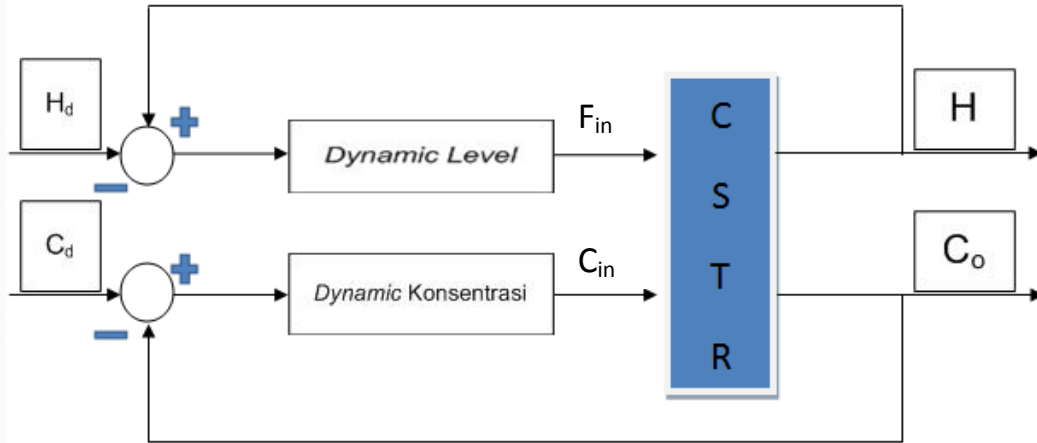
Sehingga sinyal pengendali *level* dengan pengendali *sliding mode* adalah:

$$\begin{aligned} u &= u_{eq} + u_N \\ C_{in} &= \frac{-\ddot{C}_0 + \ddot{C}_d - \lambda C_{in}c + \lambda a_2b_2 + \lambda \dot{C}_d}{\lambda c} - \left| \frac{\eta}{\lambda c} \right| \text{sign}(S) \end{aligned} \quad (3.42)$$

Untuk mengurangi *chattering* fungsi *sign* diubah menjadi fungsi *sat*.

$$C_{in} = \frac{-\ddot{C}_0 + \ddot{C}_d - \lambda C_{in}c + \lambda a_2b_2 + \lambda \dot{C}_d}{\lambda c} - \left| \frac{\eta}{\lambda c} \right| \text{sat}(S) \quad (3.43)$$

Dari pemodelan matematis yang telah dibuat, maka berikut adalah diagram blok dari pemodelan *dynamic level* dan *dynamic konsentrasi* secara sederhana dari CSTR.



Gambar 3.7 Diagram Blok *Dynamic SMC Level* dan Konsentrasi

### 3.5 Perancangan Pengendali *Hybrid Static* dan *Dynamic*

#### 3.5.1 Perancangan Pengendali *Hybrid Static* dan *Dynamic* pada *Level*

Berdasarkan persamaan matematis dari (3.14) dan (3.34) maka :

$$F_{in} = -\frac{b_1\sqrt{H}-\dot{h}_d}{a_1} - \left|\frac{\eta}{a_1}\right| sat(S) \quad (3.14)$$

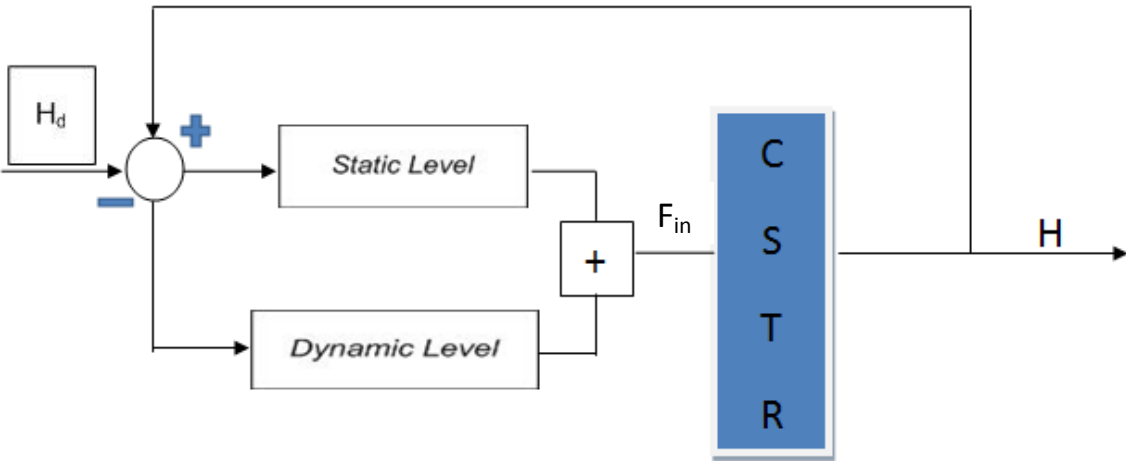
$$F_{in} = \frac{-\ddot{h}+\ddot{h}_d-\lambda b_1\sqrt{H}+\lambda\dot{h}_d}{a_1\lambda} - \left|\frac{\eta}{\lambda a_1}\right| sat(S) \quad (3.34)$$

Maka :

$$U_{\text{hybrid}} = \text{Sinyal Kendali } \textit{Static} + \text{Sinyal Kendali } \textit{Dynamic}$$

$$= -\frac{b_1\sqrt{H}-\dot{h}_d}{a_1} - \left|\frac{\eta}{a_1}\right| sat(S) + \frac{-\ddot{h}+\ddot{h}_d-\lambda b_1\sqrt{H}+\lambda\dot{h}_d}{a_1\lambda} - \left|\frac{\eta}{\lambda a_1}\right| sat(S) \quad (3.44)$$

Dari pemodelan matematis yang telah dibuat, maka berikut adalah diagram blok dari pemodelan *static level* dan *dynamic* konsentrasi secara sederhana dari CSTR



Gambar 3.8 Diagram Blok *Hybrid Static dan Dynamic Level*

### 3.5.2 Perancangan Pengendali *Hybrid Static dan Dynamic* pada Konsentrasi

Berdasarkan persamaan matematis dari (3.24) dan (3.43) maka :

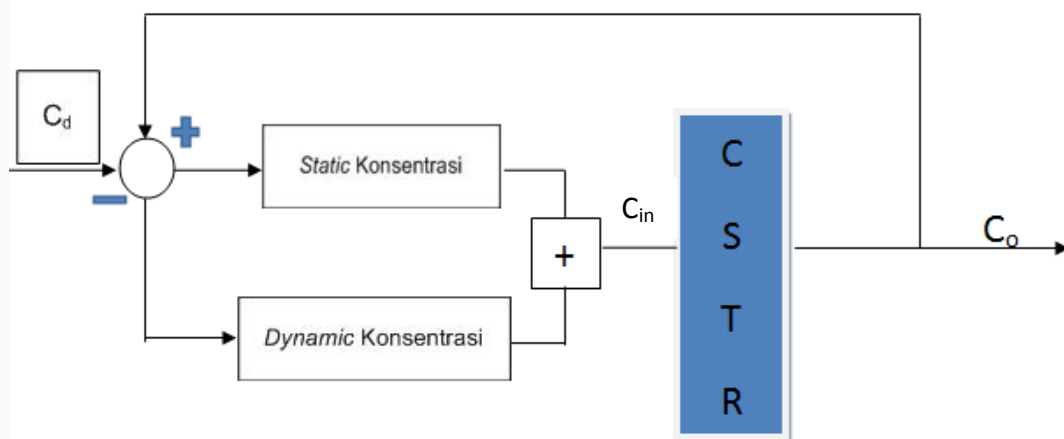
$$C_{in} = \frac{a_2 b_2 - \dot{C}_d}{c} - \left| \frac{\eta}{c} \right| \text{sat}(S) \quad (3.24)$$

$$C_{in} = \frac{-\ddot{C}_0 + \ddot{C}_d - \lambda C_{in} c + \lambda a_2 b_2 + \lambda \dot{C}_d}{\lambda c} - \left| \frac{\eta}{\lambda c} \right| \text{sat}(S) \quad (3.43)$$

Maka :

$$\begin{aligned} U_{\text{hybrid}} &= \text{Sinyal Kendali Static} + \text{Sinyal Kendali Dynamic} \\ &= \frac{a_2 b_2 - \dot{C}_d}{c} - \left| \frac{\eta}{c} \right| \text{sat}(S) + \frac{-\ddot{C}_0 + \ddot{C}_d - \lambda C_{in} c + \lambda a_2 b_2 + \lambda \dot{C}_d}{\lambda c} - \left| \frac{\eta}{\lambda c} \right| \text{sat}(S) \end{aligned} \quad (3.45)$$

Dari pemodelan matematis yang telah dibuat, maka berikut adalah diagram blok dari pemodelan *static* konsentrasi dan *dynamic* konsentrasi secara sederhana dari CSTR



Gambar 3.9 Diagram Blok *Hybrid Static dan Dynamic* Konsentrasi