

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya dan terdapat penjelasan tentang landasan teori yang dipakai dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Landasan teori tersebut meliputi teori dalam sistem kendali proses, *rotary inverted pendulum*, permodelan matematis *plant*, perangkat lunak Matlab, pengendali SMC (*Sliding Mode Control*), pengendali *fuzzy* dan pengendali *hybrid SMC-Fuzzy*

#### 2.1. Penelitian terkait

Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan, teori dan referensi didapat dari jurnal, paper, buku dan sumber lainnya.

Penelitian yang dilakukan, seperti penelitian Kontrol *Tracking* pada Sistem Pendulum Kereta Berbasis Model *Fuzzy Takagi-Sugeno* Menggunakan Pendekatan PDC Modifikasi [2]. Dalam penelitian ini masih memiliki kekurangan penyimpangan pada saat  $10 \leq t \leq 15$  dan  $30 \leq t \leq 35$ . Pada respon posisi kereta, respon mengalami penyimpangan saat  $t = 10$  detik sebesar 0,0427 meter dan pada  $t = 30$  detik sebesar -0,0494 meter. Setelah gangguan dihilangkan, kereta kembali dapat mengikuti sinyal referensi. Sedangkan pada respon sudut pendulum, saat  $t = 10$  detik mengalami penyimpangan sebesar 0,003 rad dan -0,0007 rad pada saat  $t = 30$  detik. Penyimpangan juga terjadi pada sinyal kontrol. Saat  $t = 10$  detik, sinyal kontrol mengalami penyimpangan sebesar 0,07 Newton dan saat  $t = 30$  detik penyimpangan yang terjadi sebesar -0,06 Newton[2]

Kontrol *tracking fuzzy* menggunakan sistem servo tipe integral pada *inverted pendulum* [9]. Dari hasil penilitaian ini, dapat disimpulkan bahwanya sistem kontrol *tracking fuzzy* dapat mengikuti sinyal referensi dalam waktu yang cepat dan mampu menstabilkan pendulum pada posisi tegak dan respon sistem kontrol *tracking fuzzy* memiliki spesifikasi respon lebih baik dibandingkan dengan respon kontrol optimal *Linear Quadratic Tracking (LQT)*. Simulasi sistem kontrol *tracking fuzzy* dilakukan dengan membandingkan respon sistem dengan

sistem kontrol berbasis optimal (*Linear Quadratic Tracking* – LQT). Parameter LQT yang digunakan dalam simulasi adalah  $Q = 50$  dan  $r = 1$ . Simulasi pertama dilakukan dengan memberikan sinyal referensi pulsa dengan amplitudo  $\pm 0.1$  m dan kondisi awal  $x = [0, 0.3 \text{ rad}, 0, 0]$ . Respon sistem kontrol tracking fuzzy memiliki spesifikasi respon (yaitu, *overshoot* dan *settling time*) yang lebih baik dibandingkan respon LQT.

Penelitian lainnya meneliti tentang Desain Sistem Kendali *Rotary* Pendulum Dengan *Sliding* – PID [6]. Dalam penelitiannya didapatkan hasil bahwa penggunaan kendali *Sliding*-PID menghasilkan respon yang lebih baik dibandingkan dengan kendali PID jika dilihat dari persentase maksimum *overshoot*. Nilai maksimum *overshoot* pada kendali *Sliding*-PID (0 % untuk sudut  $x$  dan sudut  $\theta$ ) lebih kecil dari pada kendali PID (9.4664% untuk sudut  $x$  dan 7.7107% untuk sudut  $\theta$ ). Sedangkan waktu untuk seluruh sistem *rotary* pendulum yang menstabilkan sudut  $x$  dan  $\theta$ , dengan kendali SPID yaitu 5.8591 detik yang lebih besar jika dibandingkan dengan kendali PID yaitu 0.5190 detik. Selain *steady state error* dari kendali *sliding*-PID 4.94% lebih besar dari pada kendali PID 4.81%.

Kemudian penelitian lainnya meneliti tentang *Swing-up* dan Stabilisasi pada sistem pendulum kereta menggunakan Metode Fuzzy dan *Linear Quadratic Regulator* [3]. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa proses *swing-up* dengan menggunakan FSC disertai aturan fuzzy yang sederhana mampu mengayunkan batang pendulum dari posisi menggantung ke posisi terbalik dalam waktu yang singkat dan jumlah ayunan sedikit, dan terbukti LQR dapat mempertahankan kestabilan batang pendulum pada posisi terbalik.

Kemudian penelitian selanjutnya adalah tentang perancangan sistem kendali *sliding*-PID untuk pendulum ganda pada kereta bergerak [7]. Pada penelitian ini penulis mengetahui renpoint PID biasa dengan *sliding*-PID, dan dari hasil penelitian tersebut bahwa penggunaan kendali *Sliding*-PID menghasilkan respon yang lebih baik dibandingkan hanya dengan menggunakan kendali PID biasa.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan maka dengan melakukan penggabungan antara kendali SMC dan kendali fuzzy menghasilkan respon waktu

yang bagus dan dapat mengatasi kekurangan antara ke dua kendali yaitu kendali SMC dan Fuzzy yang masih memiliki kelemahan diantara keduanya dan sistem yang tidak stabil. Untuk itu diperlukan penelitian tentang *Hybrid SMC-fuzzy* pada sistem *invertedpendulum*.

## 2.2. Logika Fuzzy

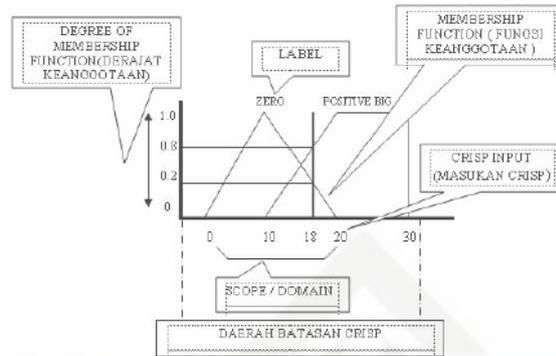
Logika fuzzy merupakan suatu cara untuk memetakan ruang input kedalam suatu ruang output. Pada sistem yang rumit penggunaan logika fuzzy sangat bermanfaat dalam pemecahan masalah pada sistem tersebut. Kendali konvensional mempunyai kekurangan dalam mengatasi masalah sistem yang kompleks, karena sistem konvensional memiliki nilai keluaran yang tegas sesuai dengan input yang telah ditentukan. Berbeda dengan logika fuzzy yang fleksibel terhadap bentuk gangguan terhadap nilai masukan pada sistem.

Secara umum, sistem fuzzy sangat cocok untuk penalaran pendekatan terutama untuk sistem yang menangani masalah-masalah yang sulit didefinisikan dengan menggunakan model matematis. Misalkan, nilai masukan dan parameter sebuah sistem bersifat kurang akurat atau kurang jelas, sehingga sulit mendefinisikan model matematikanya [10].

Sistem fuzzy mempunyai beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan sistem tradisional, misalkan pada jumlah aturan yang dipergunakan. Pemrosesan awal sejumlah besar nilai menjadi sebuah nilai derajat keanggotaan pada sistem fuzzy mengurangi jumlah nilai menjadi sebuah nilai derajat keanggotaan pada sistem fuzzy mengurangi jumlah nilai yang harus dipergunakan pengendali untuk membuat suatu keputusan. Keuntungan lainnya adalah sistem fuzzy mempunyai kemampuan penalaran yang mirip dengan kemampuan penalaran manusia. Hal ini disebabkan karena sistem fuzzy mempunyai kemampuan untuk memberikan respon berdasarkan informasi yang bersifat kualitatif, tidak akurat, dan ambigu.

Sistem fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. L. A. Zadeh dari Barkelay pada tahun 1965. Sistem fuzzy merupakan penduga numerik yang terstruktur dan dinamis. Sistem ini mempunyai kemampuan untuk mengembangkan sistem intelijen dalam lingkungan yang tak pasti. Sistem ini menduga suatu fungsi dengan logika fuzzy.

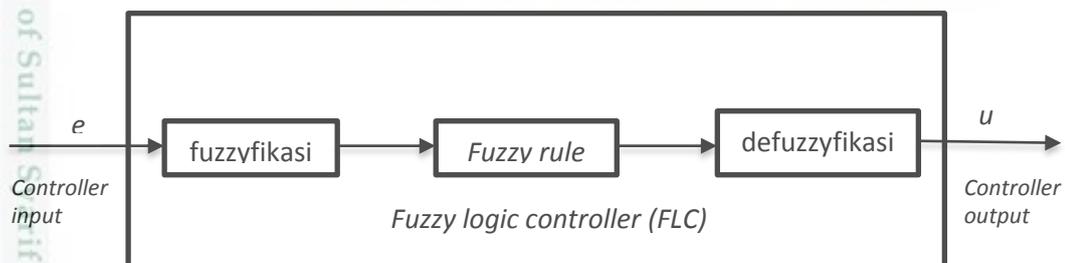
Untuk mengerti sistem fuzzy, harus mengenal konsep dasar yang berhubungan dengan logika fuzzy [11].



Gambar 2.1 Konsep Dasar Logika Fuzzy [11]

1. Derajat Keanggotaan (*membership function*) adalah : derajat dimana nilai *crisp* dengan fungsi keanggotaan ( dari 0 sampai 1 ), juga mengacu sebagai tingkat keanggotaan, nilai kebenaran, atau masukan *fuzzy*.
2. Label adalah nama deskriptif yang digunakan untuk mengidentifikasi sebuah fungsi keanggotaan.
3. Fungsi Keanggotaan adalah mendefinisikan *fuzzy set* dengan memetakan masukan *crisp* dari domainnya ke derajat keanggotaan.
4. Masukan *Crisp* adalah masukan yang tegas dan tertentu.
5. Lingkup/Domain adalah lebar fungsi keanggotaan. Jangkauan konsep, biasanya bilangan, tempat dimana fungsi keanggotaan dipetakan.
6. Daerah Batasan *Crisp* adalah jangkauan seluruh nilai yang dapat diaplikasikan pada variabel sistem.

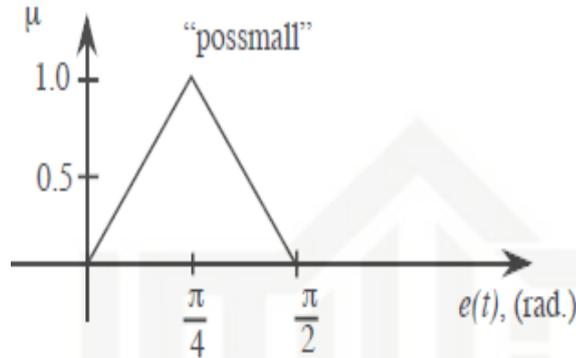
Dalam logika *fuzzy* terdapat beberapa proses yaitu *fuzzyfication*, sistem inferensi *fuzzy*, dan *defuzzyfication* [12].



Gambar 2.2: struktur umum kendali logika fuzzy

### 2.2.1 Fuzzification

*Fuzzification* adalah proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) kedalam bentuk himpunan *fuzzy* sesuai dengan fungsi keanggotaannya masing – masing.



Gambar 2.3: Fungsi keanggotaan himpunan possmall[10]

#### 2.2.1.1 Fungsi Keanggotaan

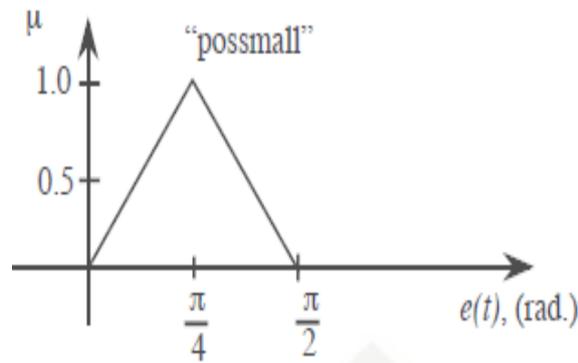
Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan:

- A. Fungsi Keanggotaan Segitiga
- B. Fungsi Keanggotaan Trapesium.

##### A. Fungsi Keanggotaan Segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga ditandai oleh adanya 3 (tiga) parameter ( $a, b, c$ ) yang akan menentukan koordinat  $x$  dari tiga sudut.

$$triangle(x : a, b, c) = \left\{ \begin{array}{l} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, b \leq x \leq c \\ 0, c \leq x \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

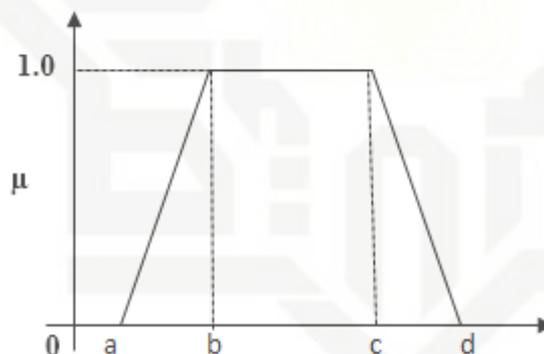


Gambar 2.4 Fungsi Keanggotaan Segitiga[10]

### B. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Fungsi keanggotaan ditandai oleh adanya 4 parameter (  $a, b, c, d$  ) sebagai berikut :

$$\text{trapesium}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (2.2)$$

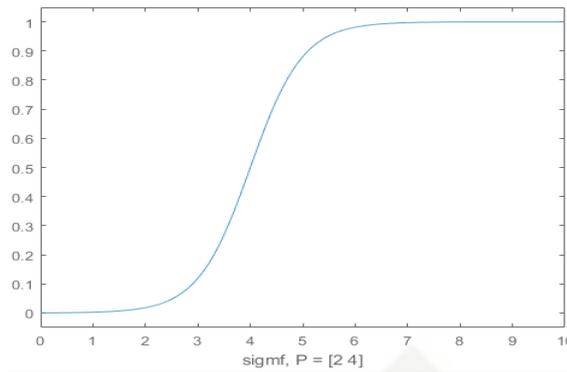


Gambar 2.5 Fungsi keanggotaan trapesium

### C. Fungsi Keanggotaan Sigmoid

Kurva dengan representasi bentuk *sigmoid* memiliki bentuk yang hampir menyerupai huruf S dengan sumbu tegak yang agak landai. Adapun persamaan yang digunakan seperti tertulis di bawah ini:

$$f(x, a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (2.3)$$

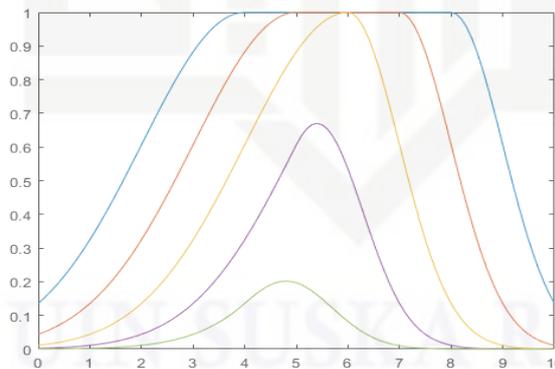


Gambar 2.6 Fungsi keanggotaan *sigmoid*

#### D. Fungsi Keanggotaan *Gaussian Combination*

Fungsi *gauss2mf* adalah kombinasi dari dua dua parameter. Fungsi pertama, yang ditentukan oleh *sig1* dan *c1* yang menentukan bentuk kurva paling kiri. Fungsi kedua ditentukan oleh *sig2* dan *c2* menentukan bentuk kurva paling kanan. Setiap kali  $c1 < c2$ , fungsi *gauss2mf* mencapai nilai maksimum 1. Jika tidak, nilai maksimum kurang dari satu. Adapun persamaan yang digunakan adalah :

$$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.4)$$



Gambar 2.7 Fungsi keanggotaan *gauss2mf*

#### 2.2.2 Sistem Inferensi *Fuzzy*

Ada beberapa metode untuk merepresentasikan hasil logika *fuzzy* yaitu metode Tsukamoto, Sugeno dan Mamdani. Metode Mamdani sering disebut juga

metode *Max – Min*. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output diperlukan 3 tahapan:

A. Pembentukan himpunan *fuzzy*

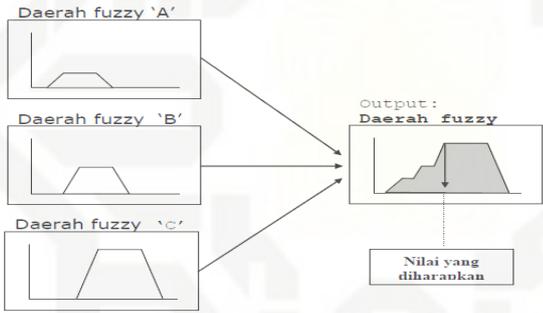
Pada Metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

B. Aplikasi fungsi implikasi

Fungsi implikasi yang digunakan pada metode *fuzzy* Mamdani adalah *Min*.

C. Komposisi aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri-dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu: *max*, *additive* dan *probabilistik OR (probor)*.



Gambar 2.8: Proses *defuzifikasi*[13]

Pada aturan *fuzzy* Mamdani terdapat beberapa metode *defuzzifikasi* [14], antara lain :

A. Metode *Centroid*

Metode ini disebut juga sebagai *Center of Area* atau *Center of Gravity*. Metode ini adalah metode yang digunakan untuk mengambil titik pusat daerah *fuzzy* untuk menentukan nilai *crisp*. Metode ini menghitung nilai *crisp* menggunakan rumus :

$$Z^* = \frac{\int z \mu(z) dz}{\int \mu(z) dz} \tag{2.5}$$

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.

Dimana  $y^*$  suatu nilai *crisp*. Fungsi *integration* dapat digantikan dengan fungsi *summation* jika  $y$  bernilai diskrit, sehingga menjadi:

$$Z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (2.6)$$

B. *Height method*

Metode ini dikenal juga sebagai prinsip keanggotaan maksimum karena metode ini secara sederhana memilih nilai *crisp* yang memiliki derajat keanggotaan maksimum. Oleh karena itu, metode ini hanya bisa dipakai untuk fungsi yang memiliki derajat keanggotaan 1 pada suatu nilai *crisp* tunggal dan 0 pada semua nilai *crisp* yang lain. Fungsi seperti ini sering disebut sebagai *singleton*.

C. *First (or Last) of Maxima*

Metode ini juga merupakan generalisasi dari *height method* untuk kasus dimana fungsi keanggotaan output memiliki lebih dari satu nilai maksimum. Sehingga, nilai *crisp* yang digunakan adalah salah satu dari nilai yang dihasilkan dari maksimum pertama atau maksimum terakhir (tergantung pada aplikasi yang akan dibangun).

D. *Mean-Max method*

Metode ini disebut juga sebagai *Middle of Maxima*. Metode ini merupakan generalisasi dari *height method* untuk kasus dimana terdapat lebih dari satu nilai *crisp* yang memiliki derajat keanggotaan maksimum. Sehingga  $y^*$  didefinisikan sebagai:

$$y^* = \frac{m + M}{2} \quad (2.7)$$

Dimana  $m$  adalah nilai *crisp* yang paling kecil dan  $M$  adalah nilai *crisp* yang paling besar.

E. *Weighted Average*

Metode ini mengambil nilai rata – rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan. Sehingga  $y^*$  didefinisikan sebagai:

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.

$$y^* = \sum \frac{\mu(y)y}{\mu(y)} \quad (2.8)$$

dimana  $y$  adalah nilai *crisp* dan  $\mu(y)$  adalah derajat keanggotaan dari nilai *crisp*  $y$ .

### 2.3 Analisa *Time Respons*

Analisa *time respons* sistem kendali terdiri dari respon *transient* dan *steady state*. Respon *transient* adalah respon sistem yang berlangsung dari keadaan awal sampai keadaan akhir, sedangkan respon *steady state* adalah kondisi keluaran sesudah habis respon *transient*. Parameter – parameter yang dapat dianalisa adalah :

1. Konstanta waktu

Ketika waktu  $t = \tau$ , maka  $k(1 - e^{-1}) = 0,63k$ . Jadi, konstanta waktu  $\tau$  untuk sistem orde pertama ketika diberikan sinyal masukan berbentuk tangga adalah waktu yang dibutuhkan oleh keluaran sistem untuk mencapai 0,63 dari nilai keadaan tunaknya.

2. Waktu Tunda (*Delay Time*)

Waktu tunda ( $t_d$ ) adalah waktu yang dibutuhkan oleh keluaran sistem untuk mencapai nilai 50% dari nilai keadaan tunaknya.

3. Waktu Naik (*Rise Time*)

Waktu naik ( $t_r$ ) adalah waktu yang dibutuhkan oleh keluaran sistem untuk naik dari 10% nilai keadaan tunaknya hingga mencapai nilai 90% nilai keadaan tunaknya.

4. Waktu Pemantapan (*Settling Time*)

Waktu pemantapan ( $t_s$ ) merupakan ukuran dari waktu yang diperlukan oleh osilasi respon sistem untuk menghilang. Lebih spesifiknya, waktu pemantapan adalah waktu yang diperlukan oleh respon sistem untuk jatuh menuju suatu nilai tertentu dan kemudian tetap berada pada nilai ini, yang biasanya dinyatakan sebagai persentase terhadap nilai keadaan tunaknya.

$$Overshoot = \frac{|T_{steady} - T_{steady}|}{T_{setpoint}} \times 100\% \quad (2.9)$$

## 5. Kesalahan Tunak (*Error Steady State* = *ess*)

Yaitu kesalahan yang merupakan selisih antara keluaran yang sebenarnya dengan keluaran yang diinginkan.

$$\text{error stedy state} = \frac{|T_{steady} - T_{steady}|}{T_{setpoint}} \times 100\% \quad (2.10)$$

## 2.4 Sliding Mode Control (SMC)

*Sliding mode control* (SMC) mulai dikembangkan pada tahun 1950-an yang dipelopori oleh S.V.Emelyanov. keunggulan utama dari SMC adalah memiliki sifat yang insensitive terhadap variasi parameter, *external disturbance*, kesalahan pemodelan, dan memiliki respon yang cepat dalam mencapai kestabilan[5].

Terdapat dua sinyal kontrol pada sliding mode control yaitu sinyal kontrol ekivalen yang memaksa state menuju permukaan luncur dan sinyal kontrol natural yang mempertahankan state dipermukaan luncur serta memberikan kekokohansistem terhadap ketidak pastia.

Berikut ini adalah contoh sederhana dari penerapan SMC pada suatu sistem dengan state variabel  $x_1 = x$ ,  $x_2 = \dot{x}$ . Maka *state space* dari sistem adalah  $\dot{x}_1 = x_2$  dan  $\dot{x}_2 = f(x) + g(x)u$ .  $x_1$  akan stabil jika

$$\dot{x}_1 = -a x_1, a > 0 \quad (2.11)$$

Sedangkan target baru untuk mencapai kestabilan yaitu  $(x_1, x_2) = (0,0)$  adalah

$$s = x_2 + a x_1 = 0 \quad (2.12)$$

$$\dot{x}_1 = x_2 = -a x_1 + s \quad (2.13)$$

Sedangkan *time derivative* dari  $s$  adalah

$$\dot{x}_1 = -a x_1, a > 0 \quad (2.14)$$

Pada prinsipnya sistem yang akan dikendalikan dibawa menuju daerah *stable manifold* dari kondisi awalnya. Fase ini disebut dengan *fase reaching*. Kemudian setelah sistem tersebut mencapai daerah *sliding surface* (yaitu saat  $s = 0$ ), maka sistem tersebut akan meluncur menuju titik keseimbangan (*equilibrium*) [2].

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.

Pengendali *sliding mode* merupakan pengendali nonlinear yang diterapkan pada sistem bersifat linier maupun nonlinier. Prinsip kerja dari pengendali *sliding mode* adalah memaksa trajektori *state* dari suatu sistem menuju permukaan luncur tertentu dan mempertahankannya pada permukaan luncur tersebut. *Sliding mode* ini terkenal dengan kekokohnya dalam mengatasi gangguan yang datang[8].

### 2.4.1 Kestabilan Lyapunov

Suatu sistem dikatakan stabil apabila energi yang disimpan semakin lama semakin kecil, sebaliknya apabila energi yang disimpan semakin besar maka suatu sistem itu dikatakan tidak stabil. Maka perlu dibuatkan model matematis agar dapat menganalisa kestabilan sistem yang menghubungkan antara masukan dengan keluaran dari sistem.

Pada sistem pengendali, keluaran dari sistem diharapkan mengacu kepada masukan yang diberikan. Sehingga kesalahan terdapat mungkin mendekati nilai nol. Pada teori *state space*, nilai kesalahan diambil dari fungsi *state* sistem. Maka akan menjadi fungsi skalar.

$$V(x) = \frac{1}{2}[S]^2 \tag{2.15}$$

Yang memenuhi:

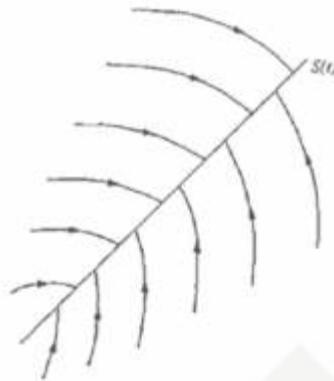
$$\dot{V}(x) = S\dot{S} < 0 \tag{2.16}$$

### 2.4.2 Permukaan Luncur

Permukaan luncur merupakan komponen yang utama pada SMC dimana kondisi awal trayektori akan menuju keadaan yang diinginkan. Prinsip kerja *sliding mode* adalah memaksa status untuk trayektori sistem untuk menuju ke permukaan luncur (*sliding surface*) dan mempertahankan status trayektori untuk tetap berada pada permukaan luncur. Kondisi *sliding mode* ditunjukkan pada gambar 2.8

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 2.9 kondisi *sliding mode* [8]

Gambar 2.9 menunjukkan kondisi *sliding mode*. Dimana *state-state* sistem menuju trayektori yang telah ditentukan. Trayektori yang telah ditentukan inilah yang disebut permukaan luncur. Secara umum permukaan luncur dapat didefinisikan pada persamaan dengan menggunakan kombinasi linier variabel *state*. Permukaan luncur didefinisikan dengan  $S$  atau  $\sigma(x)$ [5]:

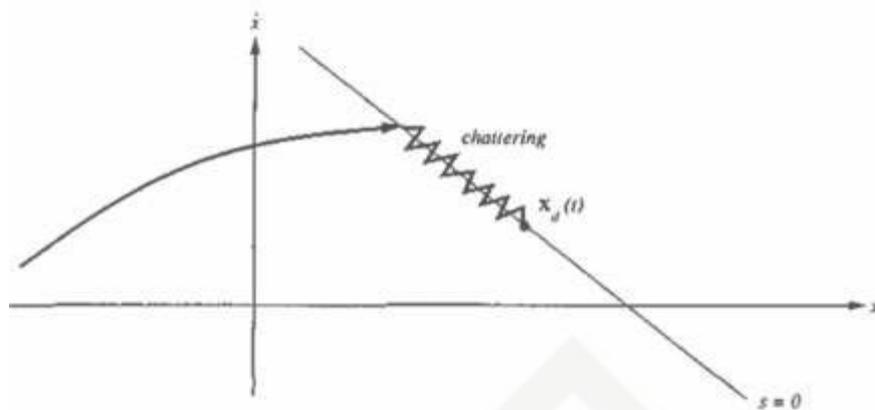
$$S(x, t) = \left( \frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n-1} e \quad (2.17)$$

Dimana :

- $n$  : orde sistem
- $e$  : kesalahan
- $\lambda$  : konstanta positif

### 2.4.3 Kondisi Chattering

*Sliding mode* merupakan pengendali berumpan balik dengan pensaklaran berkecepatan tinggi (*high speed switching feedback*), sehingga dalam penerapan pengendali sliding mode memiliki kelemahan yaitu kondisi *chattering* yang dapat mengganggu kestabilan sistem dan beresilasinya sinyal kendali dengan kecepatan tinggi.



Gambar 2.10 *Phenomenon Chattering* [8]

Pada Gambar 2.10 dapat dilihat kondisi *chattering* yang terjadi pada pengendali *sliding mode*. Sehingga mengakibatkan akurasi menjadi rendah, rusaknya sistem mekanis *actuator*, hilangnya energi pada *power*, *error steady state*, dan lain sebagainya. *Chattering* tidak dapat dihilangkan, namun dapat di reduksi[5].

#### 2.4.4 Sinyal Kendali

Sinyal kendali digunakan untuk mengendalikan sinyal yang mampu membawa trayektori menuju permukaan luncur dan dapat mempertahankan trayektori tersebut berada pada permukaan luncur. Sinyal kendali ekivalen merupakan sinyal kendali pertama yang berfungsi untuk membawa trayektori menuju permukaan luncur dan sinyal kendali natural atau sinyal kendali kedua berfungsi untuk mempertahankan ( $u_{eq}$ ) trayektori agar tetap berada pada permukaan luncur ( $u_N$ ).

Langkah-langkah untuk mendapatkan sinyal kendali sliding mode dilakukan dengan cara:

1. Dapatkan sebuah sistem linier  $\dot{x} = Ax + Bu$
2. Dapatkan nilai  $U_{eq}$  untuk mendisain permukaan luncur dengan

$$S(x, t) = 0 \quad SAx + SBu_{eq} = 0$$

$$SBu_{eq} = -SAx$$

$$u_{eq} = -(SB)^{-1}SAx$$

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.

3. setelah  $u_{eq}$  didapatkan, maka persamaan Lyapunov untuk  $u_n$  :

$$\dot{S} = SAx + SBu_{eq} + SBu_N$$

$$\dot{S} = SAx + SB(SB)^{-1} SAx + SBu_N$$

$$\dot{S} = SAx - SAx + SBu_N$$

$$\dot{S} = SBu_N$$

Sinyal kendali total merupakan perjumlahan antara dua sinyal kendali tersebut, maka dapat dituliskan :

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

Model matematis yang akan digunakan untuk perancangan pengendali *sliding mode* dapat dituliskan:

$$\ddot{y} + a_1\dot{y} + a_0y = b_1\dot{u} + b_0u$$

Misalkan :

$$x_1 = y \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{y}$$

$$x_2 = \dot{y} - b_1u \rightarrow \dot{y} = (x_2 + b_1u)$$

$$x_2 = \dot{x}_1 - b_1u \rightarrow \dot{x}_1 = (x_2 + b_1u)$$

$$x_2 = \dot{x}_1 - b_1u \rightarrow \dot{x}_1 = (x_2 + b_1u)$$

Maka :

$$\ddot{y} = -a_1\dot{y} - a_0y + b_1\dot{u} + b_0u$$

$$\ddot{x}_2 = (-a_1\dot{y} - a_0y + b_1\dot{u} + b_0u) - b_1\dot{u}$$

$$= -a_1\dot{y} - a_0y + b_0u \text{ masukkan nilai } \dot{y} \text{ dan } y$$

$$\ddot{x}_2 = -a_1(x_2 + b_1u) - a_0x_1 + b_0u$$

$$= -a_0x_1 - a_1x_2 - a_1b_1u + b_0u$$

$$\ddot{x}_2 = -a_0x_1 - a_1x_2 + (b_0u) - (a_0b_1)u$$

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_0 - a_1b_1 \end{pmatrix} u$$

$$y = x_1 = (1 \ 0) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$$

Untuk menentukan kesalahan :

$$e = x_{1d} - x_1 \tag{2.18}$$

Tentukan permukaan luncur :

$$S = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{n-1} e, \text{ jika dipih } n = 2 \tag{2.19}$$

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.

$$S = \frac{d}{dt} + \lambda e = \dot{x}_{1d} - \dot{x}_1 + \lambda x_{1d} - x_1$$

$$\begin{aligned} \dot{S} = 0 &= \ddot{x}_{1d} - \ddot{x}_1 + \lambda \dot{x}_{1d} - \dot{x}_1 \\ &= 0 - \ddot{x}_1 - \lambda \dot{x}_1 \end{aligned}$$

Jika dipilih  $x_{1d} = \text{step function} \rightarrow \dot{x}_{1d} = 0$

$$x_1 = y$$

$$\ddot{x}_1 = \ddot{y} = -a_1 \dot{y} - a_0 y + b_1 \dot{u} + b_0 u$$

$$\dot{x}_1 = \dot{y}$$

$$\dot{s} = 0 = -(a_1 \dot{y} - a_0 y + b_1 \dot{u} + b_0 u) \lambda \dot{y} = 0$$

$$-(a_1 + \lambda) \dot{y} - a_0 y + b_1 \dot{u} + b_0 u = 0$$

$$b_0 u = (a_1 - \lambda) \dot{y} + a_0 y - b_1 \dot{u}$$

$$u = \frac{1}{b_0} (a_1 - \lambda) \dot{y} + a_0 y - b_1 \dot{u} \quad (2.20)$$

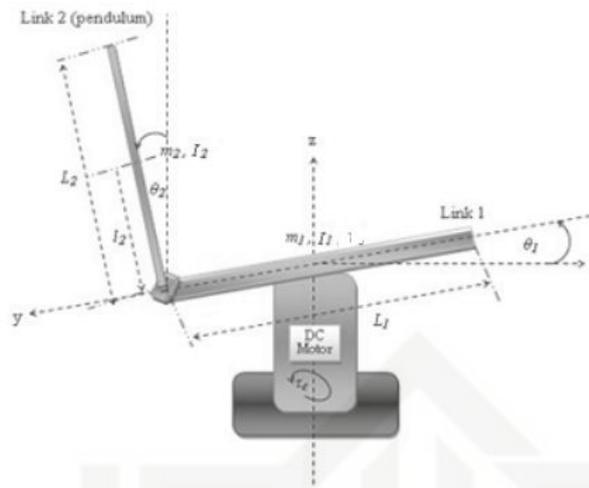
## 2.5 Rotary Inverted Pendulum

Sistem *rotary inverted pendulum* dikenal juga sebagai *plant* uji dalam masalah sistem kendali karena sifatnya yang non-linier dan sangat tidak stabil [15]. Sistem *rotary inverted pendulum* merupakan sistem yang familiar pada penerapan di kehidupan nyata hingga saat ini seperti kendali pada kedirgantaraan, robotika, simulasi rocket atau rudal, dan berbagai penerapan pada berbagai bidang lainnya.

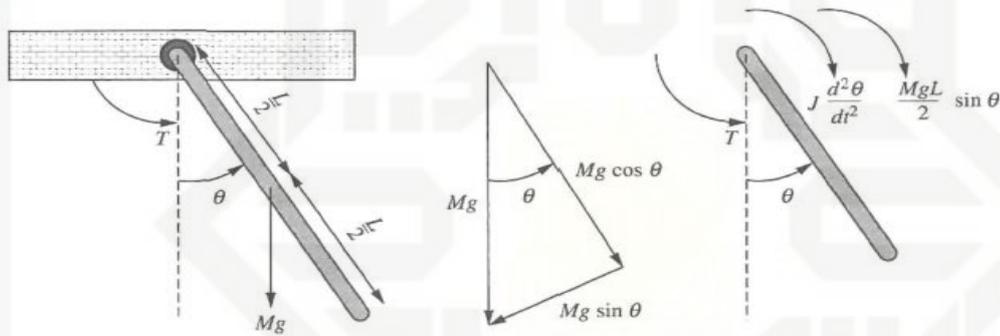
Komponen sistem *Rotary inverted pendulum* adalah *rotating arm* yang digerakkan oleh motor serta sebuah batang pendulum yang dipasang pada tepi *rotating arm*. Sistem rotary pendulum terdiri dari *vertical pendulum* dan *horisontal arm*. Pusat *horisontal arm* terhubung dengan motor, sedangkan ujung dari horisontal arm terhubung dengan vertikal pendulum. Selain itu, pada sistem *rotary inverted pendulum* pusat massanya akan berada pada ujung dari lengan dari pendulum karena sebuah batang pendulum diletakkan pada ujung lengan *rotary inverted pendulum*. Gambar 2.11 merupakan gambar dari *rotary inverted pendulum*.

**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 2.11 Rotary Inverted Pendulum



Gambar 2.12 Batang Pendulum

Gambar 2.12 menyatakan pendulum sederhana dimana  $Mg$  adalah berat,  $T$  adalah torsi yang diberikan pada arah  $\theta$  dan  $L$  adalah panjang lengan pendulum. Diasumsikan bahwa massa terdistribusi rata, dengan pusat massa pada  $L/2$ . Lalu, persamaan keadaan di linierisasi pada titik kesetimbangan pendulum yaitu posisi vertical dengan kecepatan sudut nol. Dari gambar diatas, didapatkan persamaan torsi sebagai berikut :

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{MgL}{2} \sin \theta = T \quad (2.21)$$

Dimana  $J$  adalah momen inersia pendulum yang berputar pada titik rotasi.

Didefenisikan variable keadaan  $x_1$  dan  $x_2$  sebagai variable fasa. Dengan  $x_1 = \theta$

dan  $x_2 = \frac{d\theta}{dt}$ , maka didapatkan persamaan keadaan seperti:

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (2.22)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{MgL}{2J} \sin x_1 + \frac{T}{J} \quad (2.23)$$

Dimana  $\dot{x}_2 = \frac{d^2\theta}{dt^2}$  didapat dari persamaan 2.21

Lengan pendulum berporos pada sebuah sistem motor servo dan digerakkan untuk menyeimbangkan pendulum. Pergerakan dari *rotary arm* dan pendulum yang berhubungan dengan tegangan motor servo ditunjukkan oleh persamaan berikut [15].

$$\frac{\partial^2 L}{\partial t \partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \dot{Q}_i \quad (2.24)$$

Variabel  $q$  disebut *generalized coordinates* dan  $Q$  disebut Lagrange variabel. Untuk sistem ini ditunjukkan oleh persamaan 2.25.

$$\dot{q}(t)^T = [\theta(t) a(t)] \quad (2.25)$$

Dengan *generalized coordinates* yang telah didefinisikan, maka persamaan *Euler-Lagrange* untuk sistem *rotary inverted pendulum* adalah

$$\frac{\partial^2 L}{\partial t \partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = Q_1 \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial^2 L}{\partial t \partial \dot{a}} - \frac{\partial L}{\partial \dot{a}} = Q_2 \quad (2.27)$$

*Lagrangian* dari sistem dijelaskan oleh

$$L = T - V$$

Dimana  $T$  adalah total energi kinetik dan  $V$  adalah total energi potensial dari sistem. sehingga gaya yang dihasilkan  $Q_1$  digunakan untuk menggambarkan gaya *non-conservative* (friksi) yang diterapkan pada sistem mengikuti *generalized co-ordinates*. Sehingga gaya *non-conservative* pada *rotary arm* adalah

$$Q_1 = \tau - B_r \dot{\theta} \quad (2.28)$$

Sedangkan pada pendulum adalah

$$Q_2 = -B_p \dot{\alpha} \quad (2.29)$$

Setelah *lagrangian* dari sistem ditemukan, maka beberapa penurunan perlu ditemukan dengan mengikuti persamaan 2.25 dan 2.26.

$$\left(m_p L_r^2 + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \cos(\alpha)^2 + J_r\right) \ddot{\theta} - \left(\frac{1}{2} m_p L_p L_r \cos r(\alpha)\right) \ddot{\alpha} + \left(\frac{1}{2} m_p L_p^2 \sin(\alpha) \cos(\alpha)\right) \dot{\theta} \dot{\alpha} + \left(\frac{1}{2} m_p L_p L_r \sin(\alpha)\right) \dot{\alpha}^2 = \tau - B_r(\dot{\theta}) \quad (2.30)$$

$$\frac{1}{2} m_p L_p L_r \cos(\alpha) \ddot{\theta} + \left(J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2\right) \ddot{\alpha} - \frac{1}{4} m_p L_p^2 \cos(\alpha) \sin(\alpha) \theta^2 - \frac{1}{2} m_p L_p g \sin(\alpha) = -B_p \dot{\alpha} \quad (2.31)$$

Putaran yang diterapkan pada dasar *rotary arm* dihasilkan oleh motor servo yang mana dijelaskan oleh persamaan:

$$\tau = \frac{\eta_g K_g \eta_m K_t (V_m - K_g K_m - m \dot{\theta})}{R_m} \quad (2.32)$$

Untuk mengubahnya ke bentuk linier maka asumsikan  $\theta = 0^\circ, \alpha = 0^\circ, \dot{\theta} = 0, \dot{\alpha} = 0$  untuk multivariabel sistem kontrol variabel  $z$  didefinisikan

$$z^T = [z_1, z_2] \quad (2.33)$$

Dan jika  $f(z)$  dilinierkan mendekati titik equilibrium maka

$$z_0^T = [a, b] \quad (2.34)$$

Fungsi linierisasi dapat ditulis sebagai

$$f_{lin} = f(z_0) + \left(\frac{\partial f(z)}{\partial z_1}\right)_{z=z_0} (z_1 - a) + \left(\frac{\partial f(z)}{\partial z_2}\right)_{z=z_0} (z_2 - b) \quad (2.35)$$

Dengan menerapkan metode linierisasi ini dan mengambil sisi bagian kiri dari persamaan 2.27 dan 2.28 sebagai  $f(z)$ . Maka kita mendapatkan bentuk linier dari persamaan gerak sistem *rotary inverted pendulum*

$$(m_p L_r^2 + J_r) \ddot{\theta} - \frac{1}{2} m_p L_p L_r \ddot{\alpha} = \tau - B_r \dot{\theta} \quad (2.36)$$

$$\frac{1}{2} m_p L_p L_r \ddot{\theta} + \left(J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2\right) \ddot{\alpha} - \frac{1}{2} m_p L_p g \alpha = -B_p \dot{\alpha} \quad (2.37)$$

Persamaan 2.33 dan 2.34 dapat ditulis dalam bentuk matrik seperti berikut

$$\begin{bmatrix} m_p L_r^2 + J_r & -\frac{1}{2} m_p L_p L_r \\ -\frac{1}{2} m_p L_p L_r & J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_r & 0 \\ 0 & B_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{2} m_p L_p g \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

Persamaan linier *state space* adalah

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (2.38)$$

$x$  adalah *state* dan  $u$  adalah input kendali.  $A$ ,  $B$ ,  $C$  dan  $D$  adalah matrik *state space*. Untuk sistem *inverted pendulum*, *state* dan *output* didefinisikan

$$x^T = \begin{bmatrix} \theta & \alpha & \dot{\theta} & \dot{\alpha} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

Dan

$$y^T = x_2 \quad (2.40)$$

Pada persamaan *output* hanya sudut pendulum yang akan dihitung.

Sehingga persamaan matrik  $C$  dan  $D$  didefinisikan

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

Dan

$$D = 0 \quad (2.42)$$

Dari persamaan 2.35 didapatkan

$$\begin{bmatrix} m_p L_r^2 + J_r & -\frac{1}{2} m_p L_p L_r \\ \frac{1}{2} m_p L_p L_r & J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau - B_r \dot{\theta} \\ \frac{1}{2} m_p L_p g \alpha - B_p \dot{\alpha} \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

Pemecahan untuk persamaan percepatan didefinisikan

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = \frac{1}{J_T} \begin{bmatrix} J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 & \frac{1}{2} m_p L_p L_r \\ \frac{1}{2} m_p L_p L_r & m_p L_r^2 + J_r \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Dimana  $J_T = (J_p m_p L_r^2 + J_r J_p + \frac{1}{4} J_r m_p L_p^2)$ , sehingga didapat

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{J_T} \left( - \left( J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \right) B_r \dot{\theta} - \frac{1}{2} m_p L_p L_r B_p \dot{\alpha} + \frac{1}{4} m_p^2 L_p^2 L_r g \alpha + \left( J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \right) \tau \right) \quad (2.45)$$

$$\ddot{\alpha} = \frac{1}{J_T} \left( - \frac{1}{2} m_p L_p L_r B_r \dot{\theta} - (J_r + m_p L_r^2) B_p \dot{\alpha} + \frac{1}{2} m_p L_p g (J_r + m_p L_r^2) \alpha + \frac{1}{2} m_p L_p L_r \tau \right) \quad (2.46)$$

Sehingga  $\dot{x}_1 = \dot{\theta}$  dan  $\dot{x}_2 = \dot{\alpha}$  substitusikan  $x$  pada persamaan percepatan maka matriks A dan B adalah

$$A = \frac{1}{J_T} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{1}{4} m_p^2 L_p^2 L_r g & -(J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2) B_r & -\frac{1}{2} m_p L_p L_r B_p \\ 0 & \frac{1}{2} m_p L_p g (J_r + m_p L_r^2) & -\frac{1}{2} m_p L_p L_r B_r & -(J_r + m_p L_r) B_p \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

$$B = \frac{1}{J_T} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \\ \frac{1}{2} m_p L_p L_r \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

Parameter pendulum yang digunakan ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Parameter sistem *inverted pendulum*[15]

Parameter	Simbol	Nilai
Massa lengan	$m_r$	0.257 kg
Panjang lengan	$L_r$	0.2159 m
Inersia lengan	$J_r$	$9.98 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$
Koefisien <i>viscous damping</i> lengan	$B_r$	0.11 N.m.s/rad
Massa pendulum	$m_p$	0.127 kg
Panjang pendulum	$L_p$	0.337 m
Koefisien <i>viscous damping</i> pendulum	$B_p$	0.0024 N.m.s/rad
Inersia pendulum	$J_p$	$0.0012 \text{ kg.m}^2$

Resistansi jangkar	$R_m$	2.6 $\Omega$
Back-emf constant	$K_m$	0.0077 V-s/rad
Torque constant	$K_t$	0.0077 N-m/A
High gear total gear ratio	$K_g$	70
Gravitasi	$g$	9.8 kg.m/s <sup>2</sup>
Gearbox efficiency	$\eta_g$	0.9
Motor efficiency	$\eta_m$	0.69

Dengan memasukkan parameter dari tabel 2.1 maka matrik A, B, C dan, D didapatkan

$$A = \frac{1}{J_T} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{1}{4} \cdot 0.127^2 \times 0.337^2 \times 0.2159 \times 9.8 & -(0.0012 + \frac{1}{4} \cdot 0.127 \times 0.337^2) \cdot 0.11 & -\frac{1}{2} \cdot 0.127 \times 0.337 \times 0.2159 \times 0.0024 \\ 0 & \frac{1}{2} \cdot 0.127 \times 0.337 \times 9.8 (9.98 \times 10^{-4} + 0.127 \times 0.2159^2) & -\frac{1}{2} \cdot 0.127 \times 0.337 \times 0.2159 \times 0.11 & -(9.98 \times 10^{-4} + 0.0024) \end{bmatrix}$$

$$B = \frac{1}{J_T} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0012 + \frac{1}{4} \cdot 0.127 \times 0.337^2 \\ \frac{1}{2} \cdot 0.127 \times 0.337 \times 0.2159 \end{bmatrix}$$

Sehingga didapatkan

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 80.3 & -45.8 & -0.930 \\ 0 & 122 & -44.1 & -1.40 \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 83.4 \\ 80.3 \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

$$C = [0 \ 1 \ 0 \ 0] \quad (2.51)$$

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.

$D = 0$  (2.52)

Dari persamaan 2.49 sampai persamaan 2.52 akan digunakan sebagai *plant* yang akan di kendalikan dengan sistem kendali *hybrid SMC-Fuzzy*.



**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.