

TUGAS AKHIR  
PERANCANGAN KONTROLER PID-LQR DAN *ROBUST NEURAL NETWORK*  
*ESTIMATOR* UNTUK *DIRECT TORQUE CONTROL* MOTOR INDUKSI TIGA  
FASA

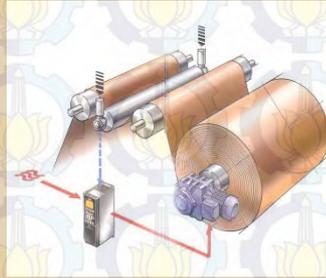


DISUSUN OLEH:  
Farida Gamar 2213 105 043  
DOSEN PEMBIMBING:  
Dr. Ir. Mochammad Rameli  
Ir. Rusdhianto Effendie A.K, MT.





# PENDAHULUAN



Kompleks  
sehingga sulit  
dikendalikan



Metode vektor  
kontrol yaitu  
DTC



Masih banyak  
terjadi fluktuasi  
*switching*



1. Desain Metode Direct Torque Control (DTC) yang dapat meminimalkan terjadinya fluktuasi pada pemilihan sektor.
2. Desain kontroler kecepatan motor induksi secara optimal.
3. Mendesain agar kecepatan motor induksi sesuai dengan model kecepatan yang diinginkan.



# TUJUAN



1. Merancang metode vektor kontrol yaitu *Direct Torque Control* (DTC) sebagai pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa.
2. Merancang Neural Network fluks estimator untuk mengestimasi nilai fluks stator.
3. Merancang Kontroler PID yang dituning menggunakan metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) untuk mengatur kecepatan motor induksi.
4. Merancang *neural network flux reference* agar kecepatan aktual sama dengan kecepatan yang diinginkan.



# BATASAN MASALAH

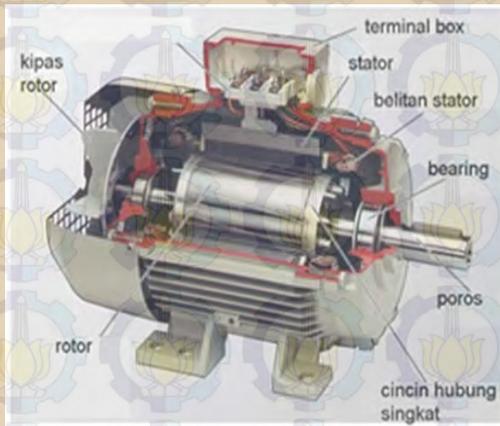


1. Parameter motor induksi menggunakan parameter dari textbook Advance Power Electronic
2. Simulasi menggunakan Matlab 7.10.0



# TINJAUAN PUSTAKA

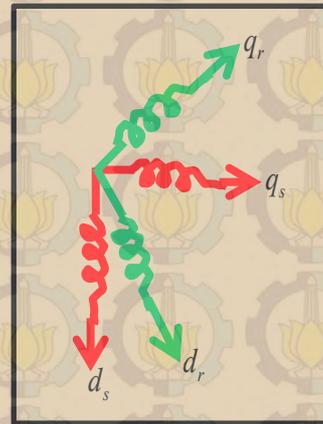
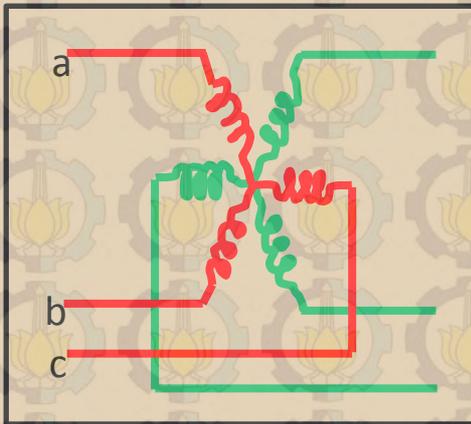
# Motor Induksi



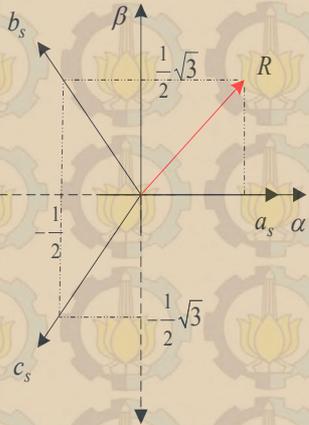
1. Konstruksi motor induksi sederhana, kokoh, handal, mudah perawatannya, dan relatif murah.
2. Terdiri dari banyak bagian, namun yang menjadi subsystem dasar adalah stator dan rotor.
3. Kumparan stator terdiri dari 3 kumparan yang berbeda fasa  $120^\circ$ .

## Motor Induksi (2)

- Performansi motor induksi 3 fasa agak kompleks dikarenakan gulungan rotor 3 fasa bergerak sehubungan dengan gulungan stator 3 fasa.
- Diperlukan penyederhanaan dari 3 fasa ke 2 fasa.



## Transformasi Clarke

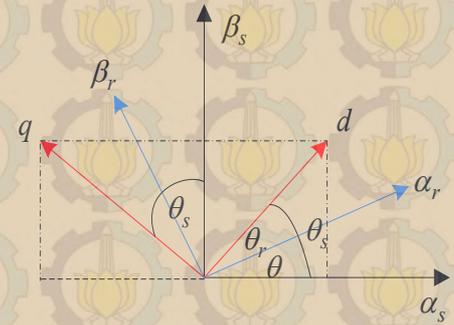


$$\begin{bmatrix} X_\alpha \\ X_\beta \end{bmatrix} = T_{23} \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad T_{23} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix}$$

Transformasi yang digunakan untuk mengubah dari 3 fasa menjadi 2 fasa (abc to  $\alpha\beta$ )

Transformasi yang digunakan untuk mengubah besara stator ke dalam koordinat *stationary rotating frame* (d-q)

## Transformasi Park

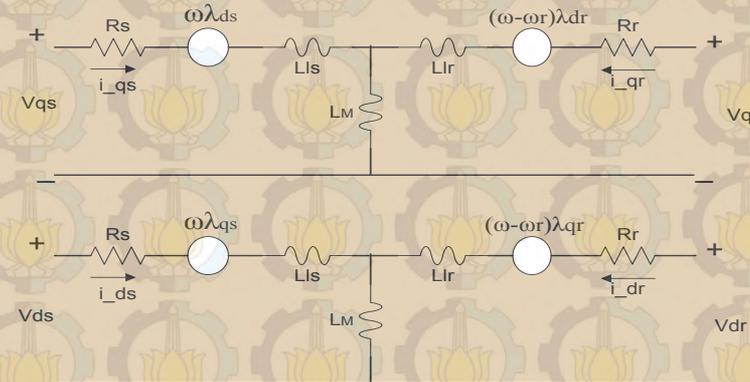


$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_\alpha \\ X_\beta \end{bmatrix}$$

X dapat berupa tegangan (v), arus (i), dan frekuensi (f)

# Motor Induksi (4)

## Persamaan Kron

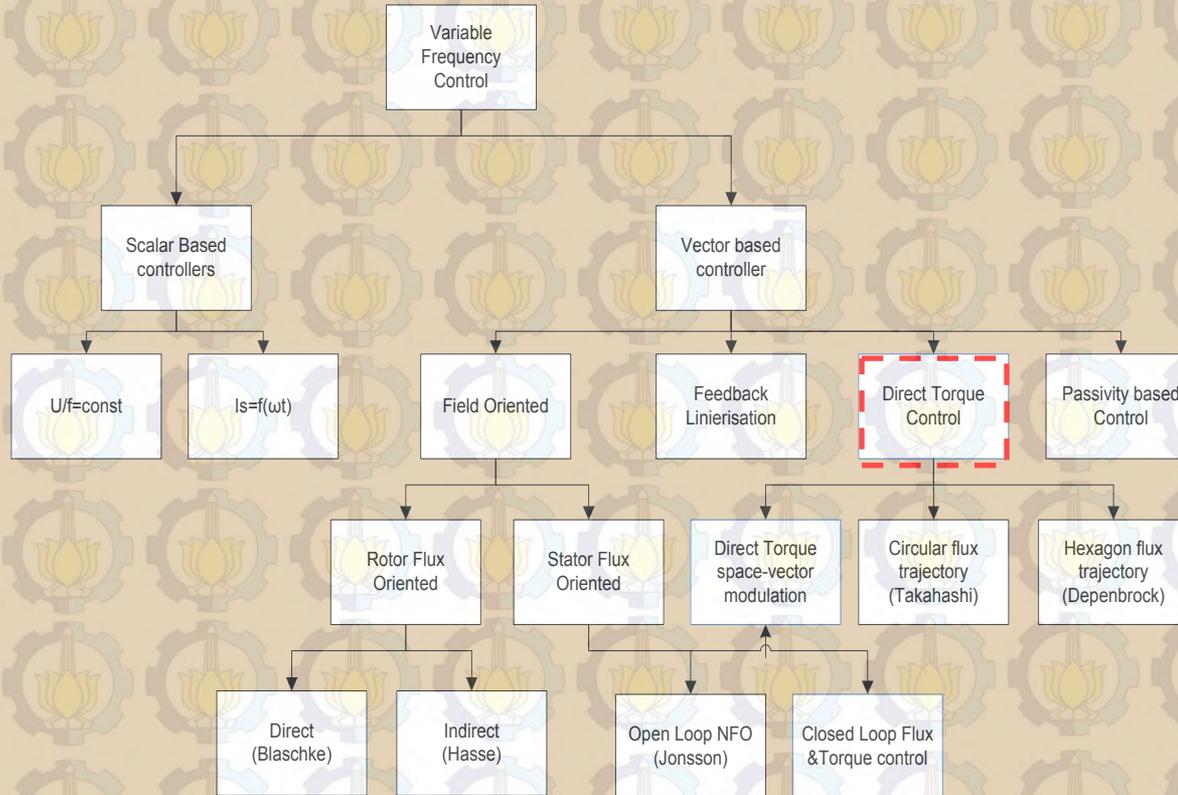


## Bentuk persamaan model matematika motor induksi

$$\begin{bmatrix} V_{qs} \\ V_{ds} \\ V_{qr} \\ V_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + sL_s & \omega \cdot L_s & sL_m & \omega \cdot L_m \\ -\omega \cdot L_s & R_s + sL_s & -\omega \cdot L_m & sL_m \\ sL_m & (\omega - \omega_r)L_m & R_r + sL_r & (\omega - \omega_r)L_r \\ -(\omega - \omega_r)L_m & sL_m & -(\omega - \omega_r)L_r & R_r + sL_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \end{bmatrix}$$

# Direct Torque Control (DTC)

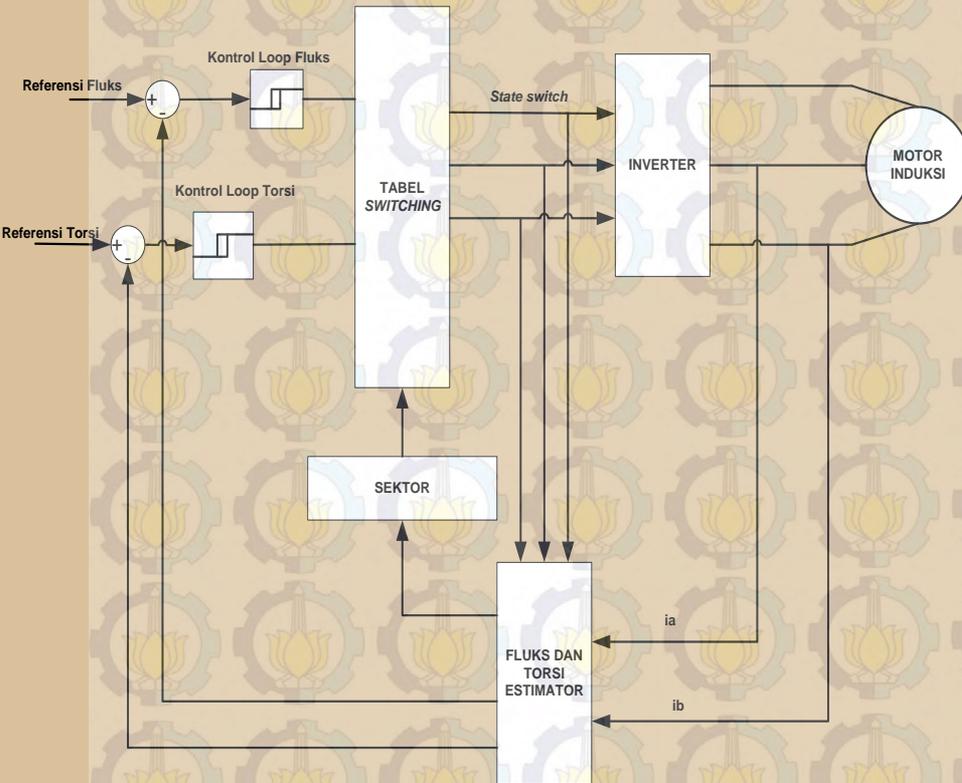
## Klasifikasi Pengaturan Motor Induksi



# Direct Torque Control (2)



## Skema DTC

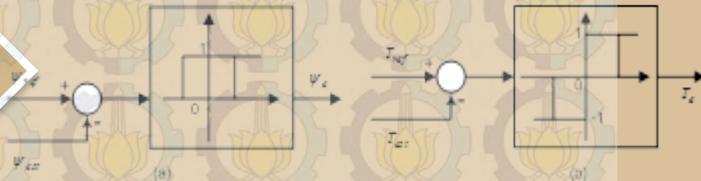


estimator

$$|\lambda_s| = \sqrt{\lambda_{ds}^2 + \lambda_{qs}^2}$$

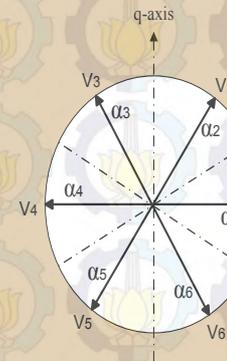
$$\alpha = \angle \lambda_s = \tan^{-1} \frac{\lambda_{qs}}{\lambda_{ds}}$$

Komparator



Switching Table

$$\alpha = \angle \psi_s = \tan^{-1} \frac{\psi_{qs}}{\psi_{ds}}$$



DTC konvensional :

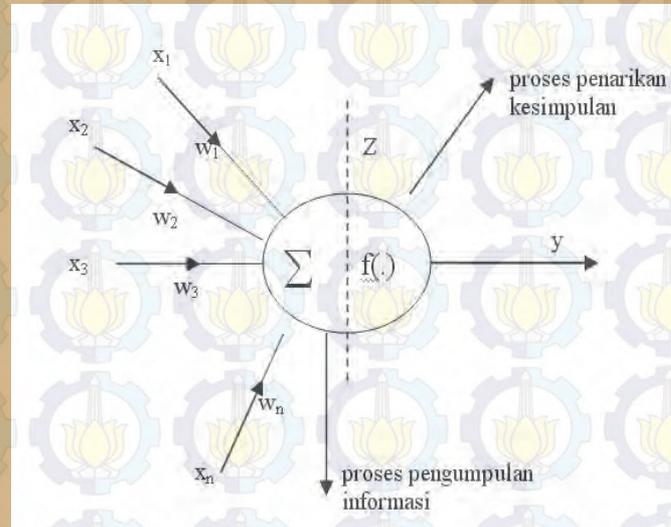
- $-30^\circ < \alpha(1) < 30^\circ$
- $30^\circ < \alpha(2) < 90^\circ$
- $30^\circ < \alpha(3) < 90^\circ$
- $90^\circ < \alpha(4) < 150^\circ$
- $150^\circ < \alpha(5) < 210^\circ$
- $210^\circ < \alpha(6) < 270^\circ$

DTC Modifikasi :

- $0^\circ < \alpha(1) < 60^\circ$
- $60^\circ < \alpha(2) < 120^\circ$
- $120^\circ < \alpha(3) < 180^\circ$
- $180^\circ < \alpha(4) < -120^\circ$
- $-120^\circ < \alpha(5) < -60^\circ$
- $-60^\circ < \alpha(6) < 0^\circ$

# Neural Network

Merupakan salah satu bentuk penyederhanaan dari jaringan sistem syaraf biologis dinyatakan dalam formulasi matematika jaringan simbolik dengan pemodelan secara umum seperti gambar dibawah

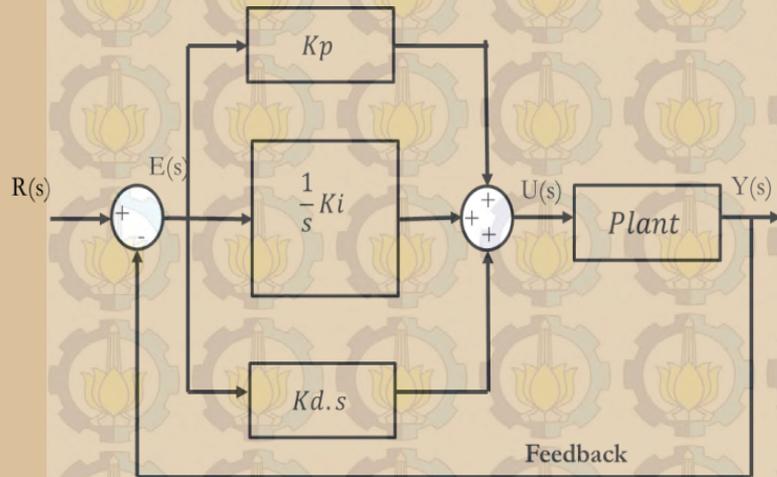




# Linear Quadratic Regulator (LQR)



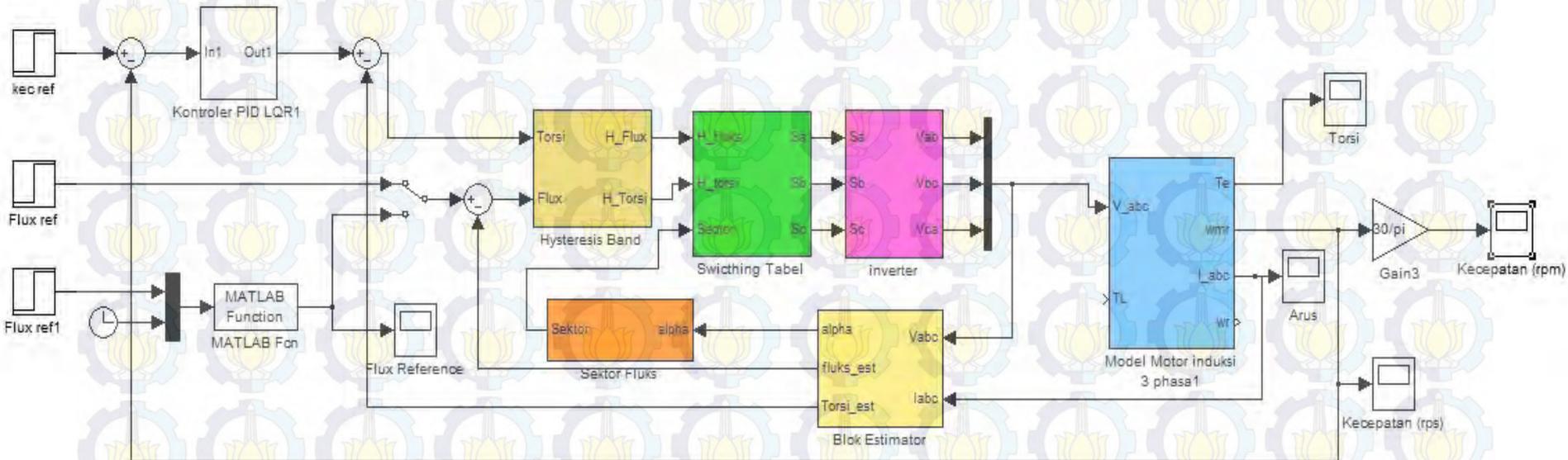
*Linear Quadratic Regulator* (LQR) adalah sebuah kontrol optimal yang bertujuan membawa *state* akhir ke titik nol dengan meminimalkan *cost function*. Kontroler ini bertujuan mencari nilai *gain state feedback*.



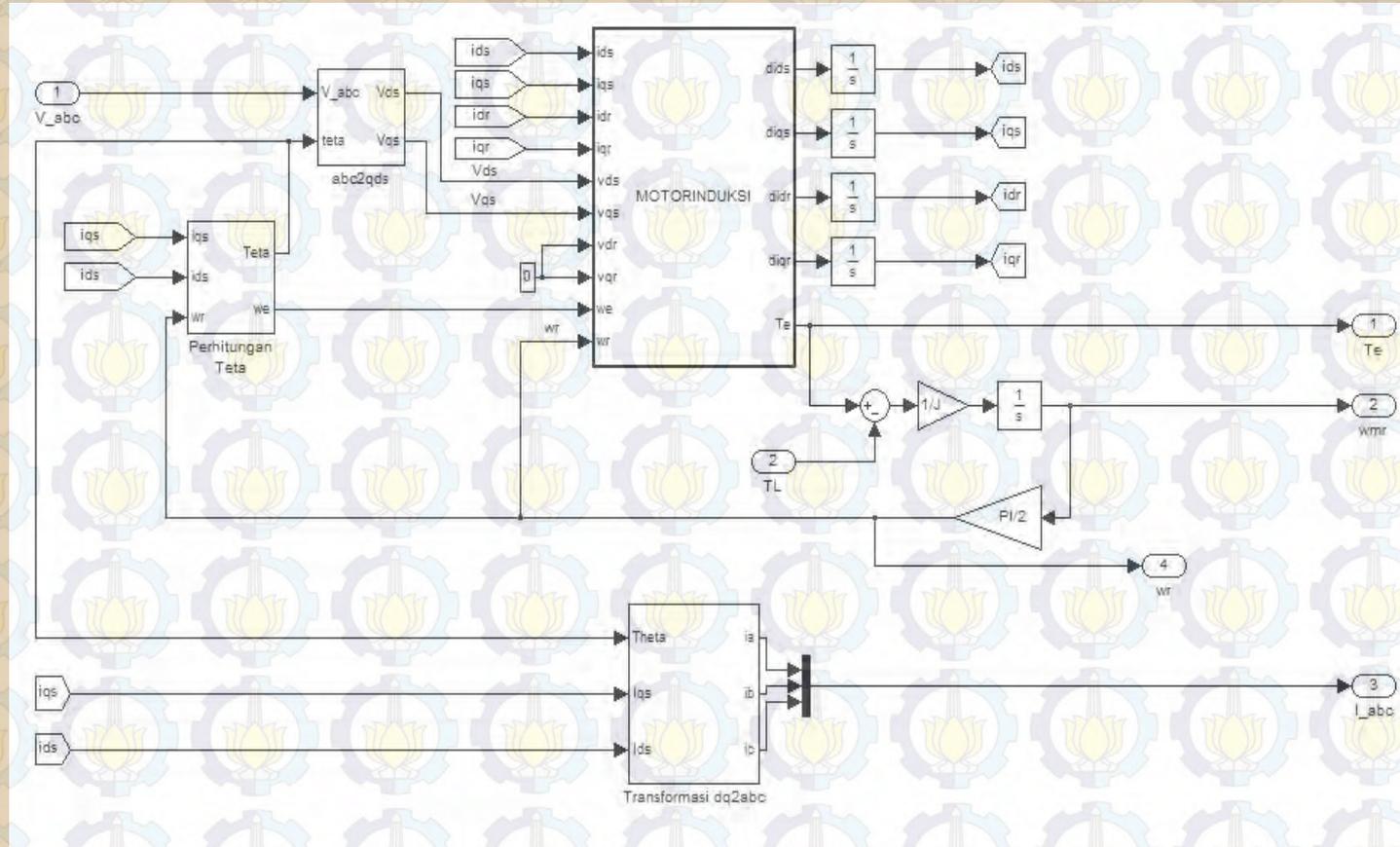
adalah salah satu mekanisme kontroler umpan balik yang banyak digunakan dalam sistem pengaturan di industry. Sebuah kontroler PID menghitung nilai kesalahan sebagai perbedaan antara variable proses terukur dan set point yang diinginkan. Hingga saat ini PID dapat dikatakan sebagai kontroler terbaik karena tidak diperlukan teknik yang rumit dalam tahap perancangan.

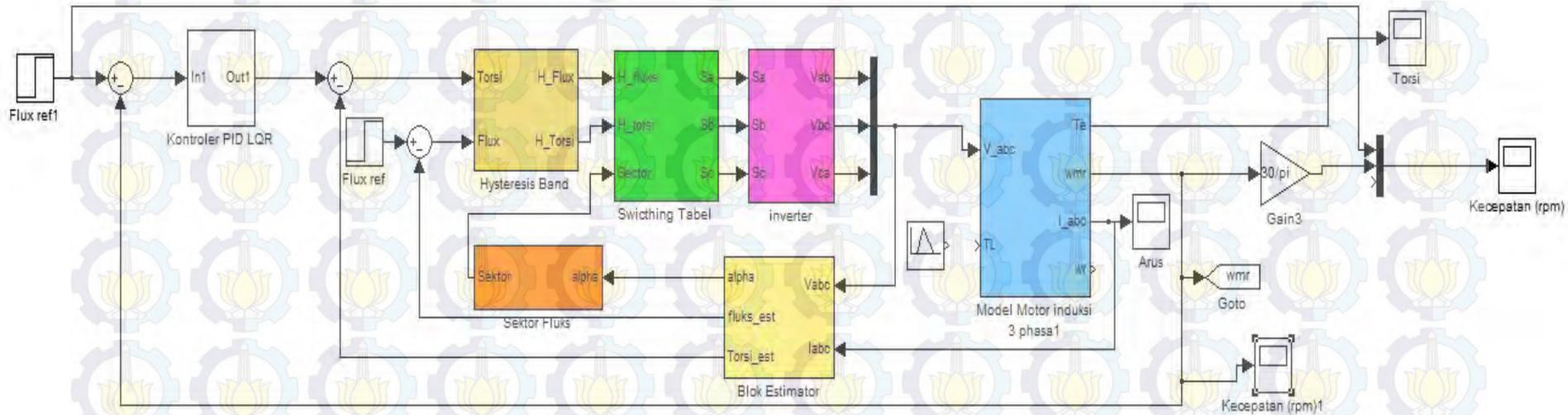
The background of the slide features a repeating pattern of stylized lotus flowers in yellow and light green, each enclosed within a grey gear-like circular border. The pattern is set against a light beige background. A white rectangular box with a thin border is centered on the slide, containing the text.

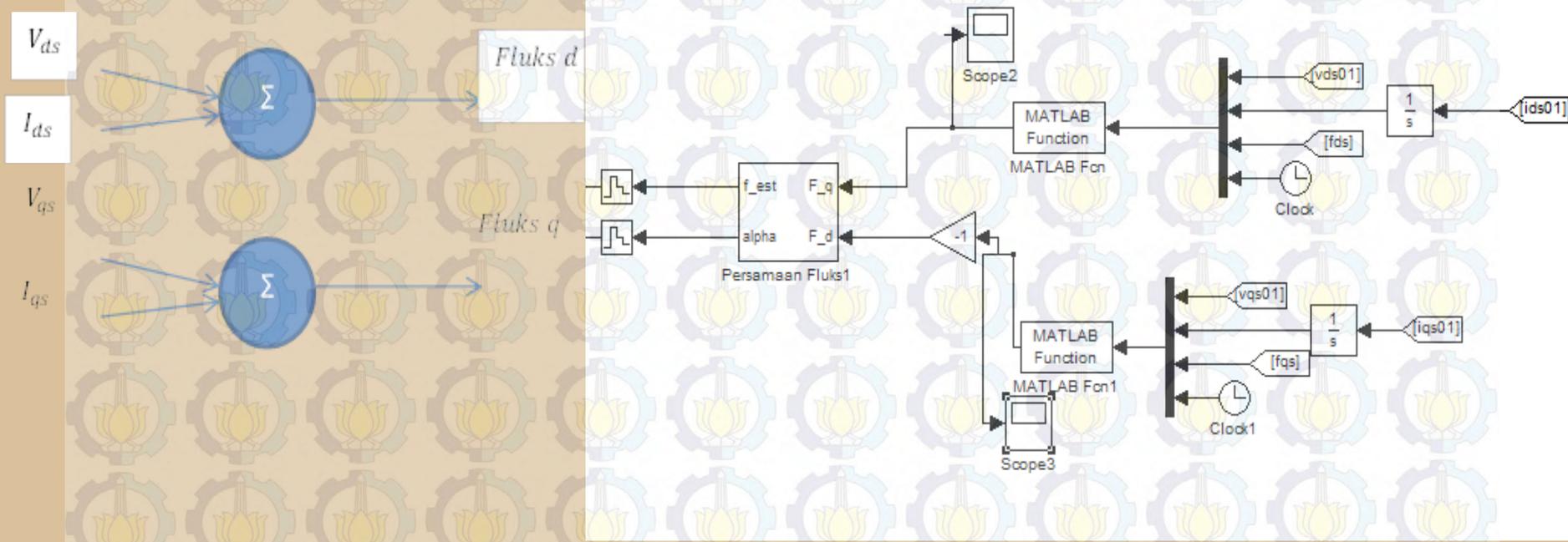
Perancangan



# Perancangan Simulasi Motor Induksi







Didapatkan model matematika *plant* dari proses identifikasi:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-3,75s + 702,6}{s^2 + 40,46s - 1,825}$$

Setelah dicari menggunakan persamaan state, maka representasi *plant* dalam *state space* sebagai berikut:

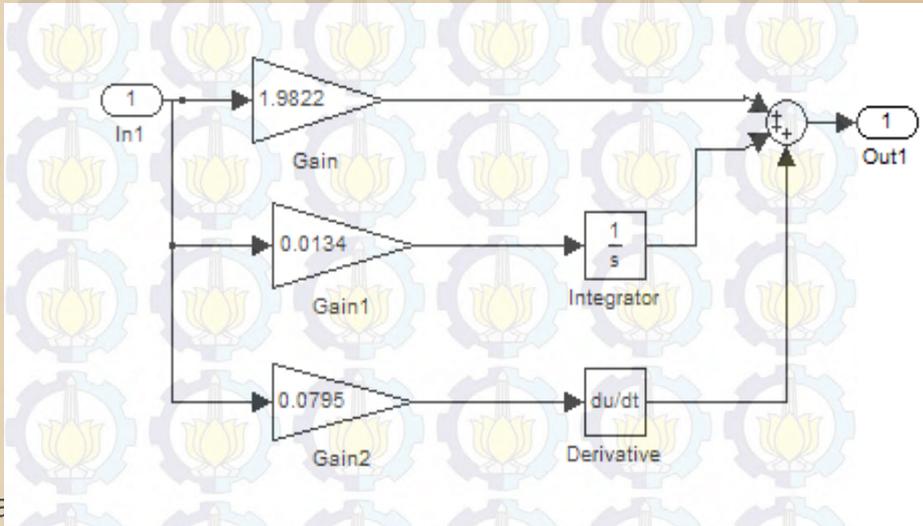
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1,825 & -40,46 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -3,75 \\ 550,875 \end{bmatrix} u$$

$$y = [0 \quad 1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

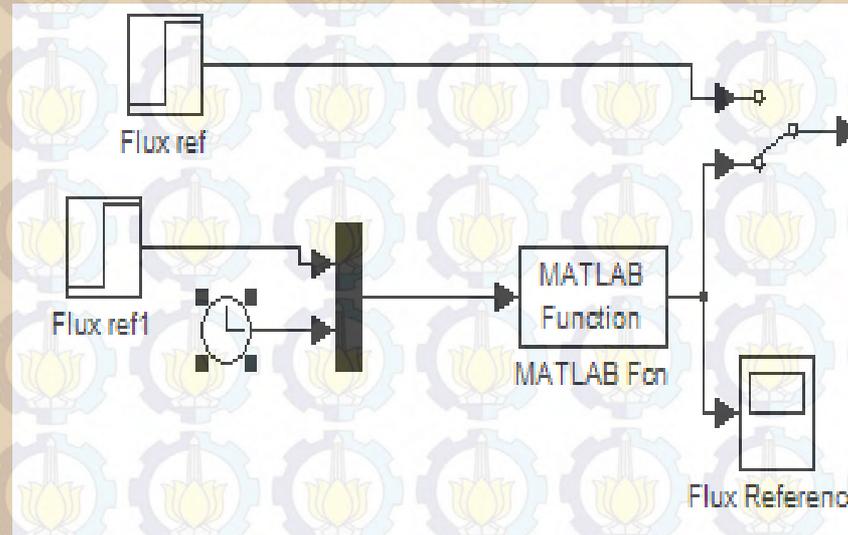
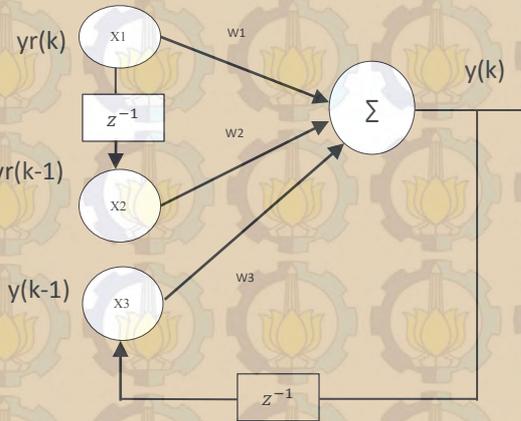
Sehingga diperoleh masing-masing matriks penyusun LQR sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1,825 & -40,46 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ -3,75 \\ 550,875 \end{bmatrix}, C = [0 \quad 1 \quad 0]$$

$$R = [1] \quad Q = \begin{bmatrix} 18 \cdot 10^{-6} & 0 & 0 \\ 0 & 0,39 & 0 \\ 0 & 0 & 865 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix}$$



Bertujuan untuk memperbaiki respon kecepatan aktual agar mengikuti respon kecepatan yang diinginkan.

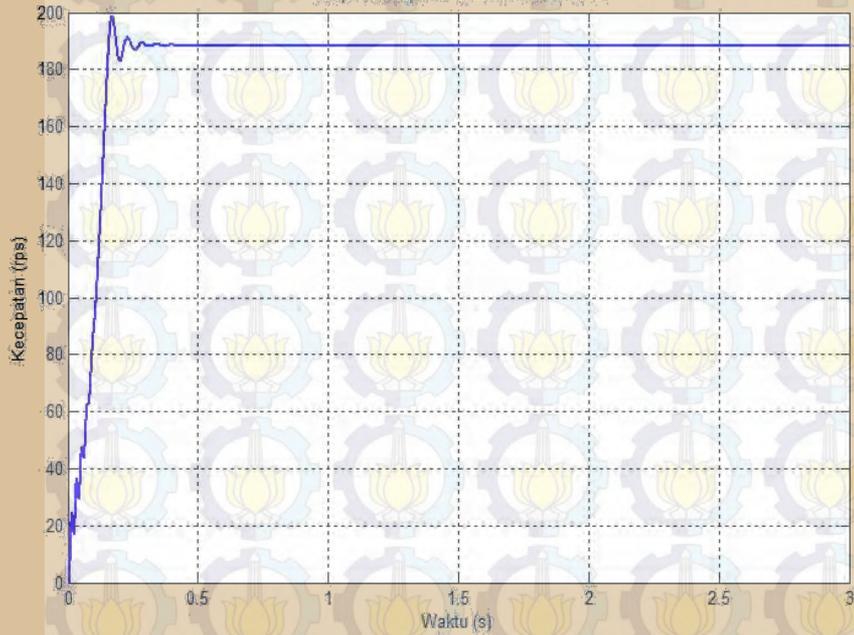


The background of the slide features a repeating pattern of stylized lotus flowers in yellow and green, each enclosed within a grey gear-like border. The pattern is set against a light beige background. A central white-bordered rectangle highlights the text.

Hasil Simulasi

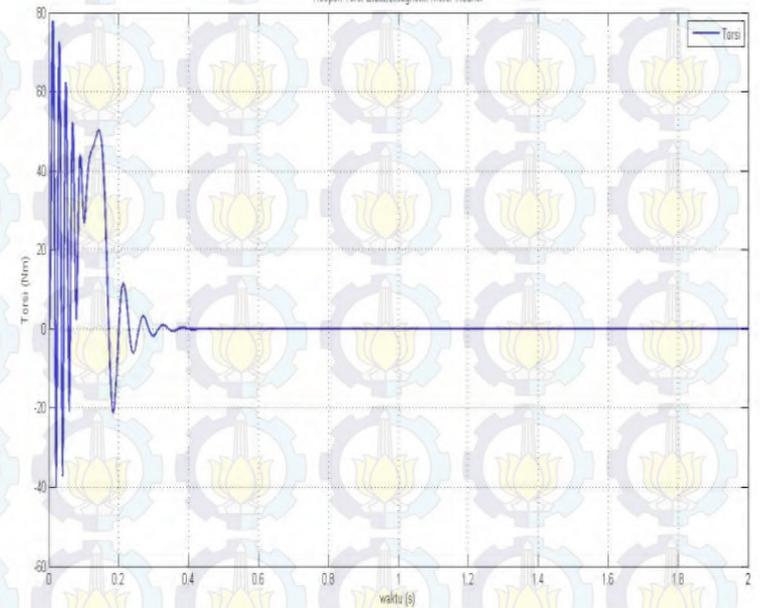
## Respon Kecepatan

Respon Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa:



## Respon Torsi

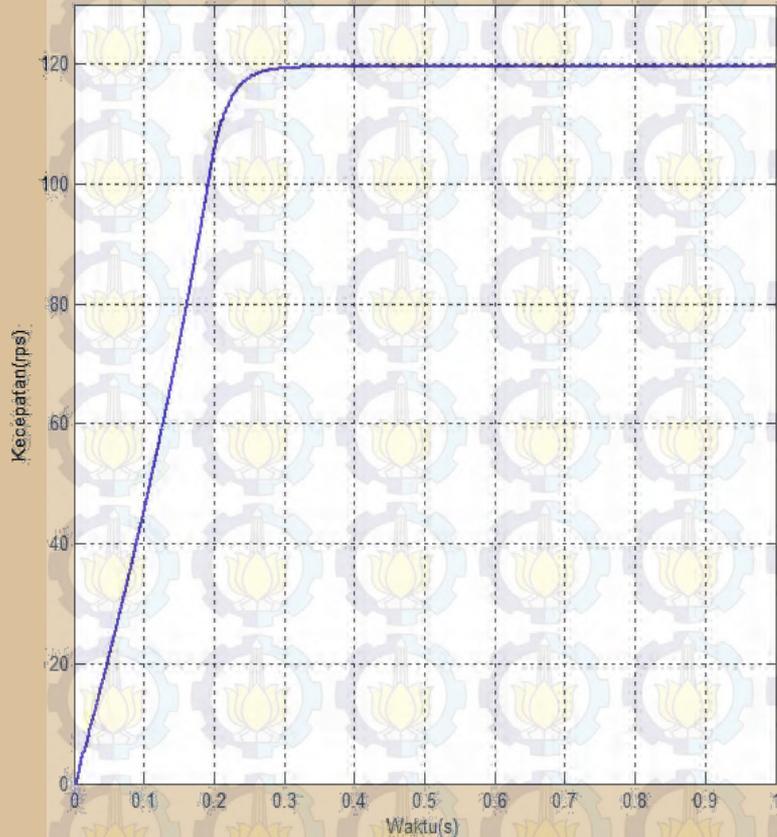
Respon Torsi Elektromagnetik Motor Induksi



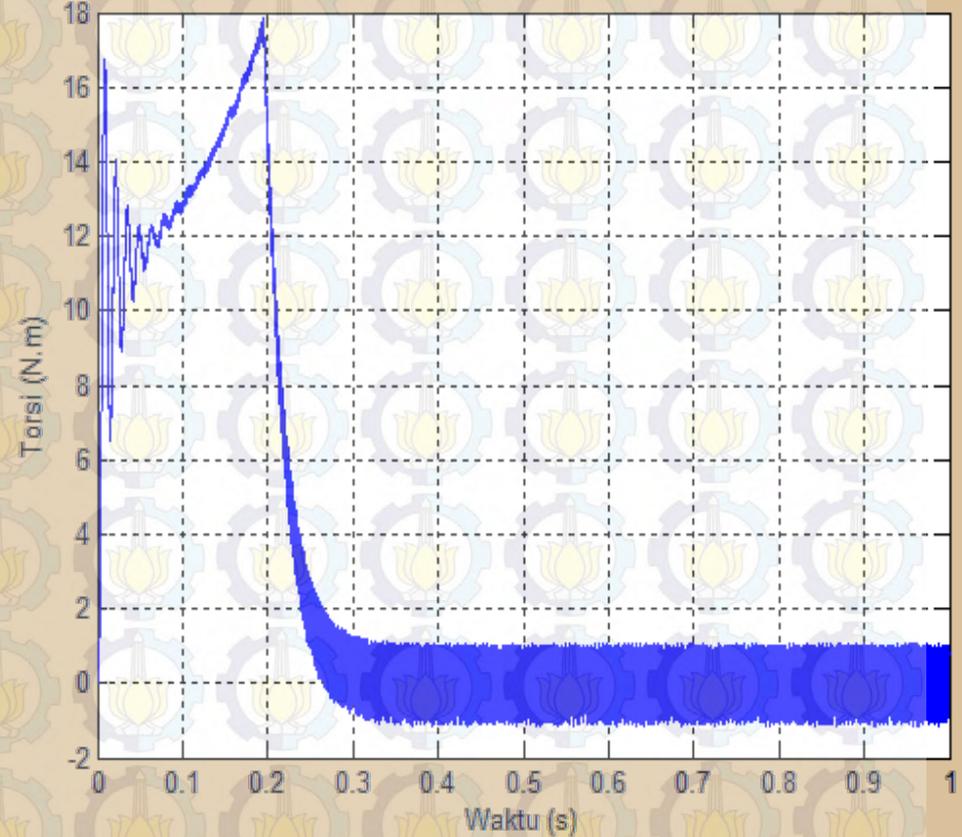
# Hasil Simulasi Motor Induksi dengan DTC

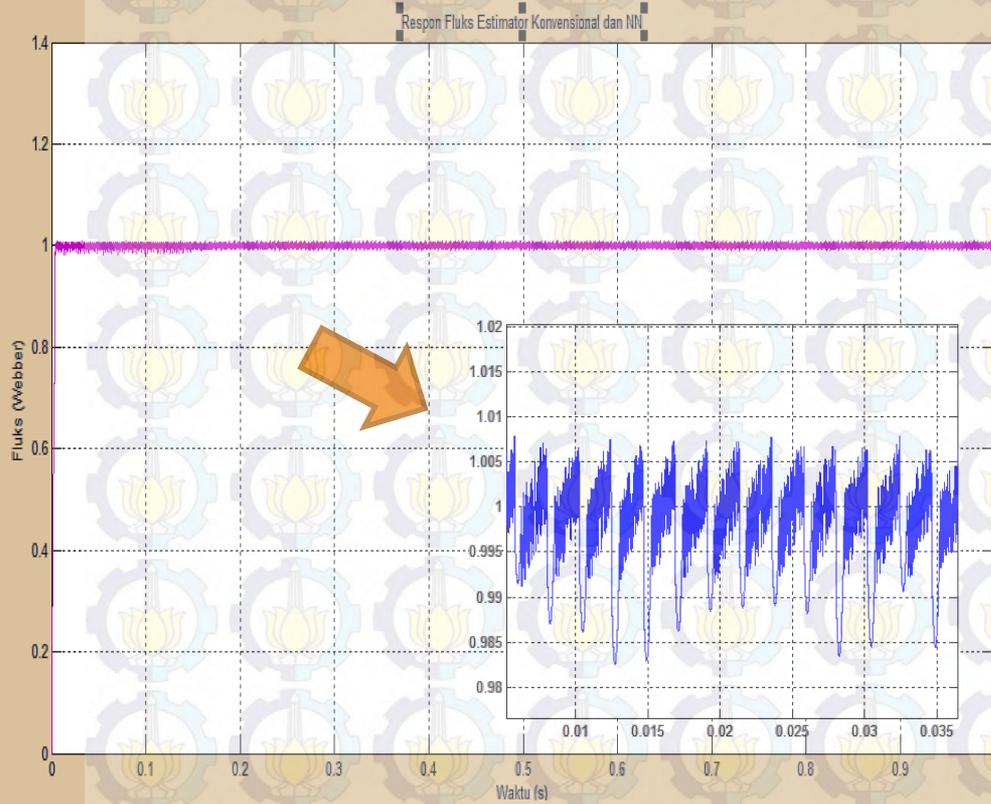


Respon Kecepatan Direct Torque Control Motor Induksi 3-Fasa



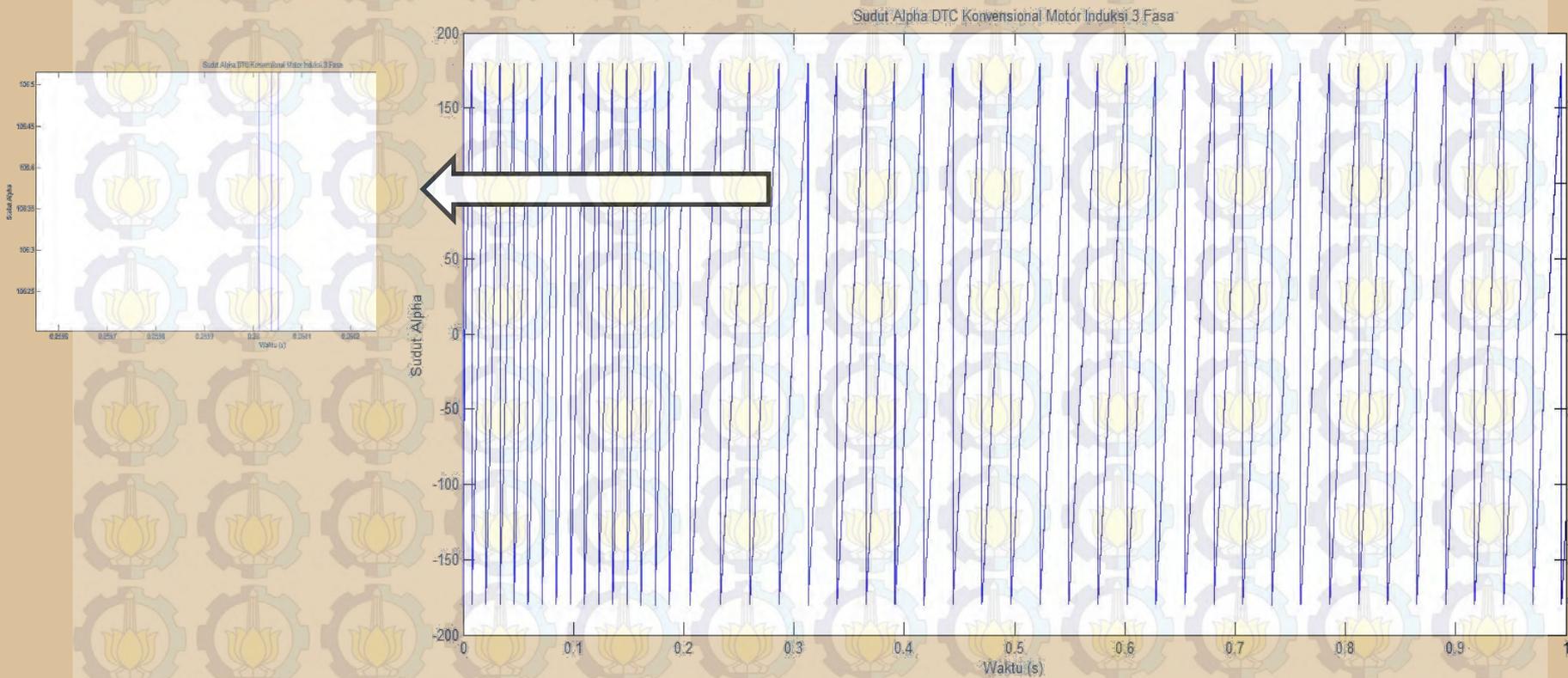
Respon Torsi Motor Induksi dengan Metode DTC



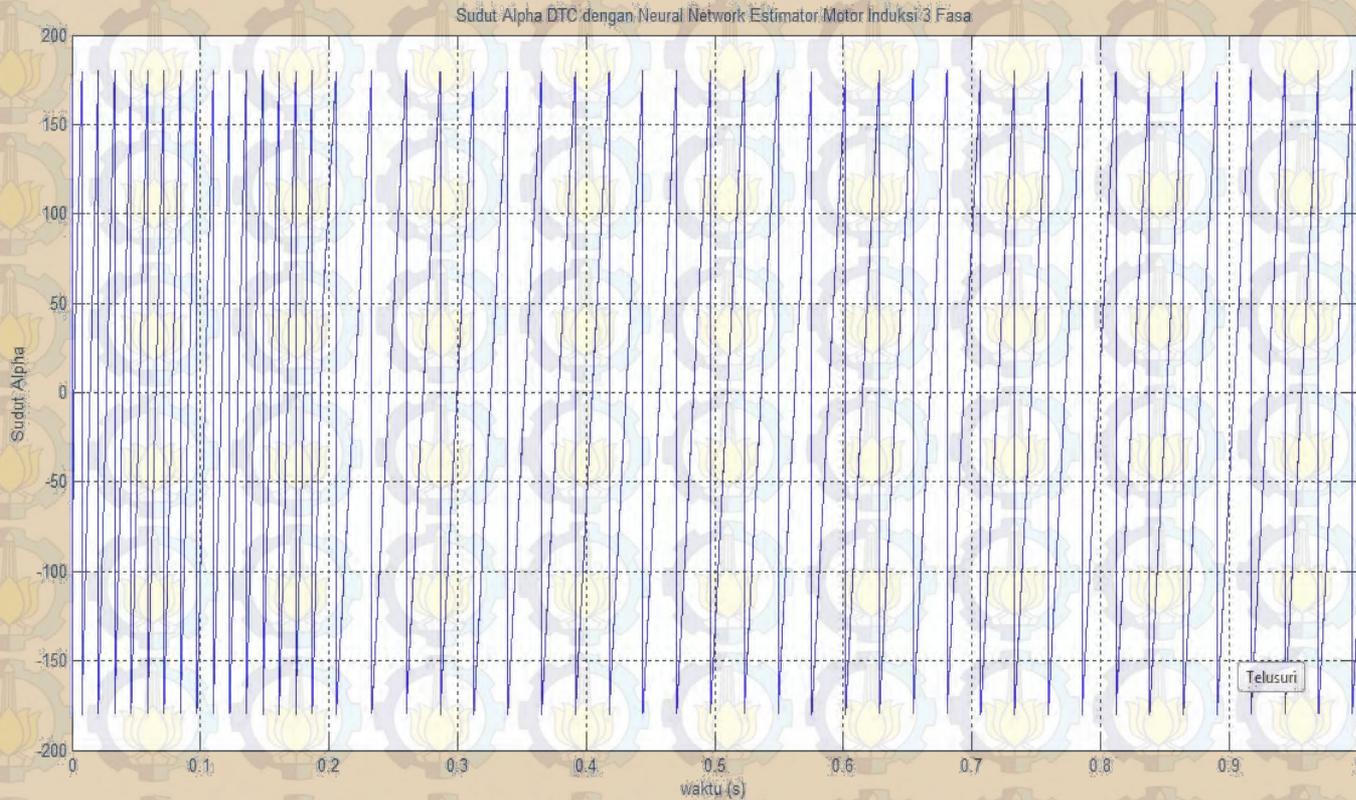


Setelah dilakukan proses learning pada struktur NN maka didapatkan bobot sebesar -1,77 sehingga estimasi dari fluks nilainya sama dengan estimasi konvensional.

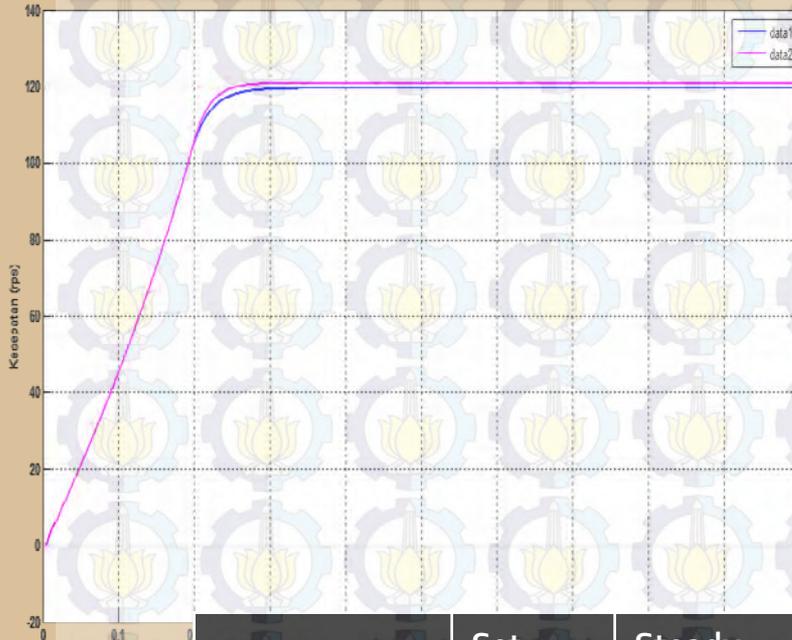
# Hasil Simulasi Estimator NN (1)



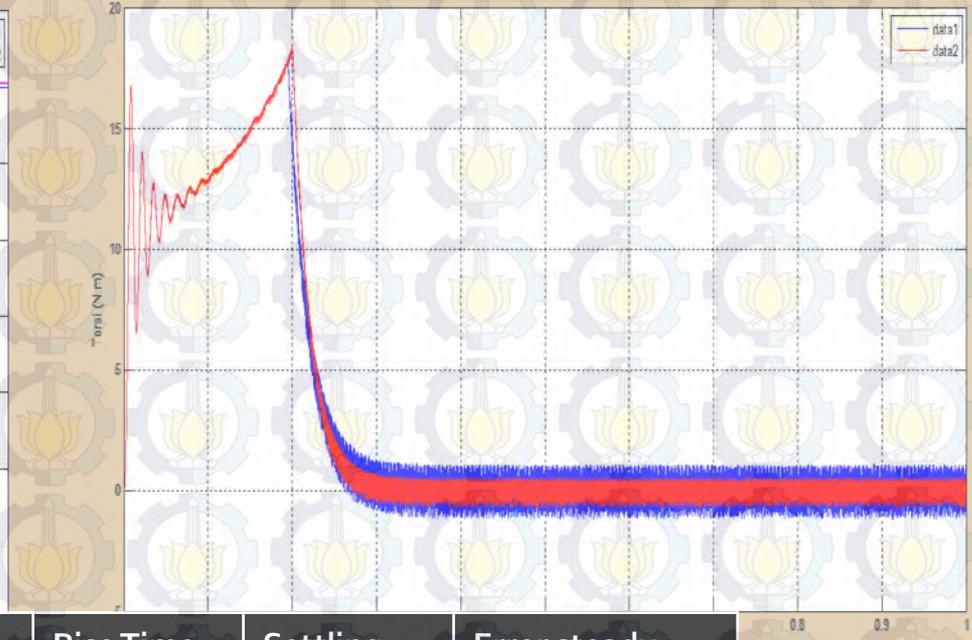
# Hasil Simulasi Estimator NN (2)



Kecepatan

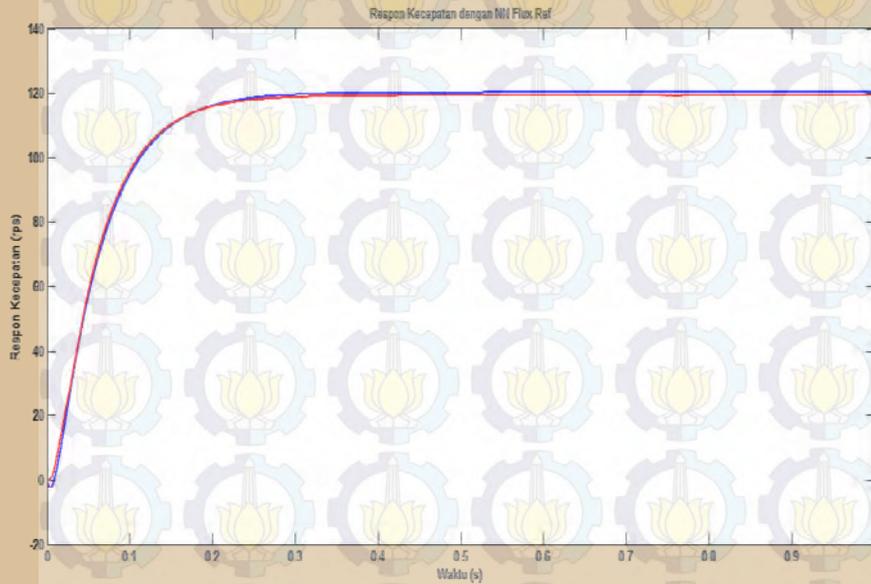


Torsi

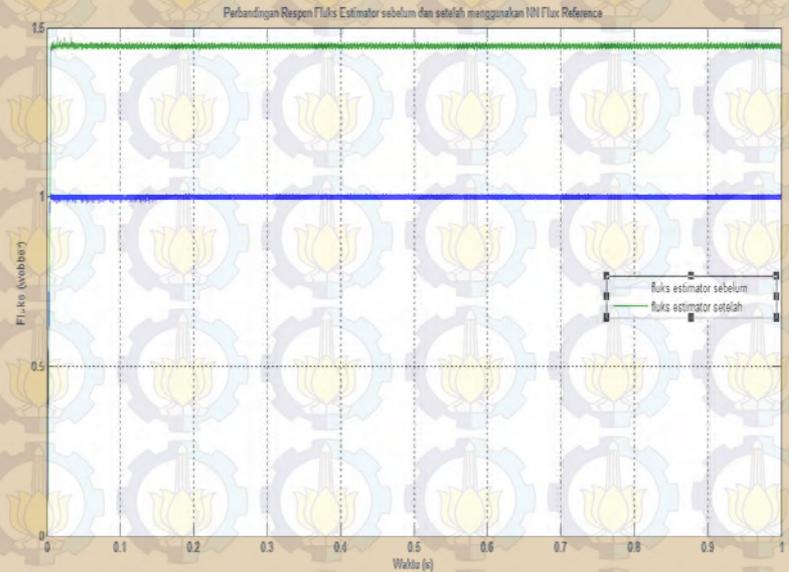


|                | Set point | Steady State | Rise Time | Settling time | Error steady state |
|----------------|-----------|--------------|-----------|---------------|--------------------|
| Tanpa PID-LQR  | 120       | 119.85 rps   | 0.260 s   | 0.45 s        | 0.15%              |
| Dengan PID-LQR | 120       | 121.5 rps    | 0.240 s   | 0.3 s         | 1.5%               |

Kecepatan saat *learning*



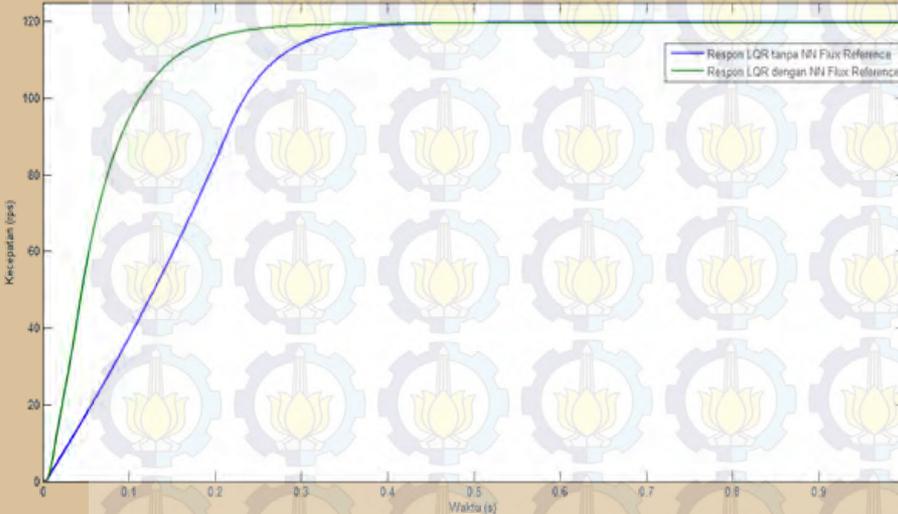
Fluks Estimator



# Hasil Simulasi Motor Induksi setelah menggunakan *Neural Network Flux Reference* (2)

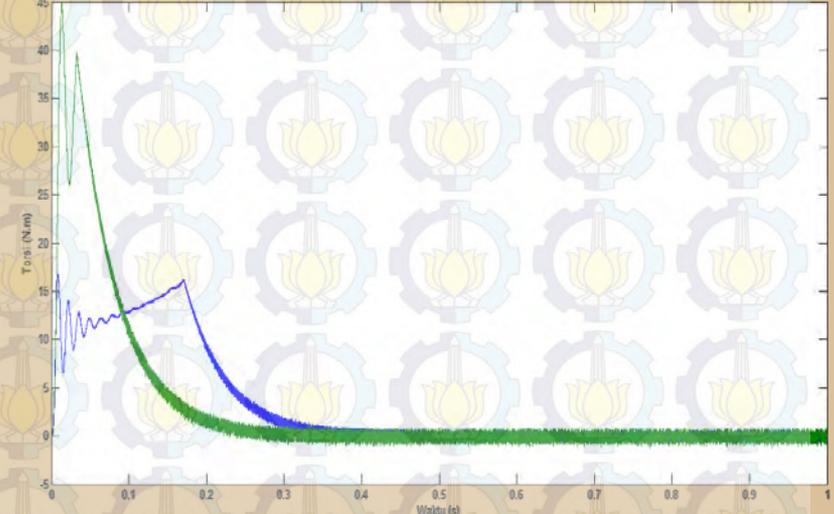
Kecepatan

Perbandingan Respon Kecepatan NN Flux Reference



Torsi

Perbandingan Respon Torsi tanpa dan dengan NN Flux Reference

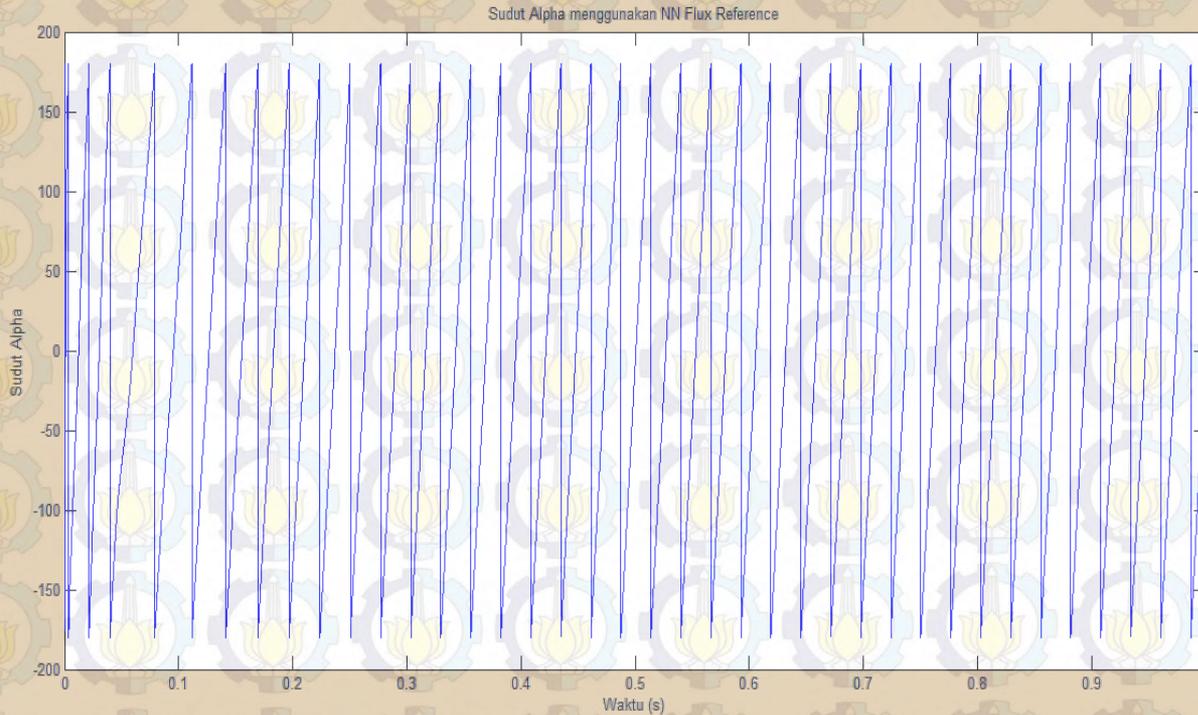


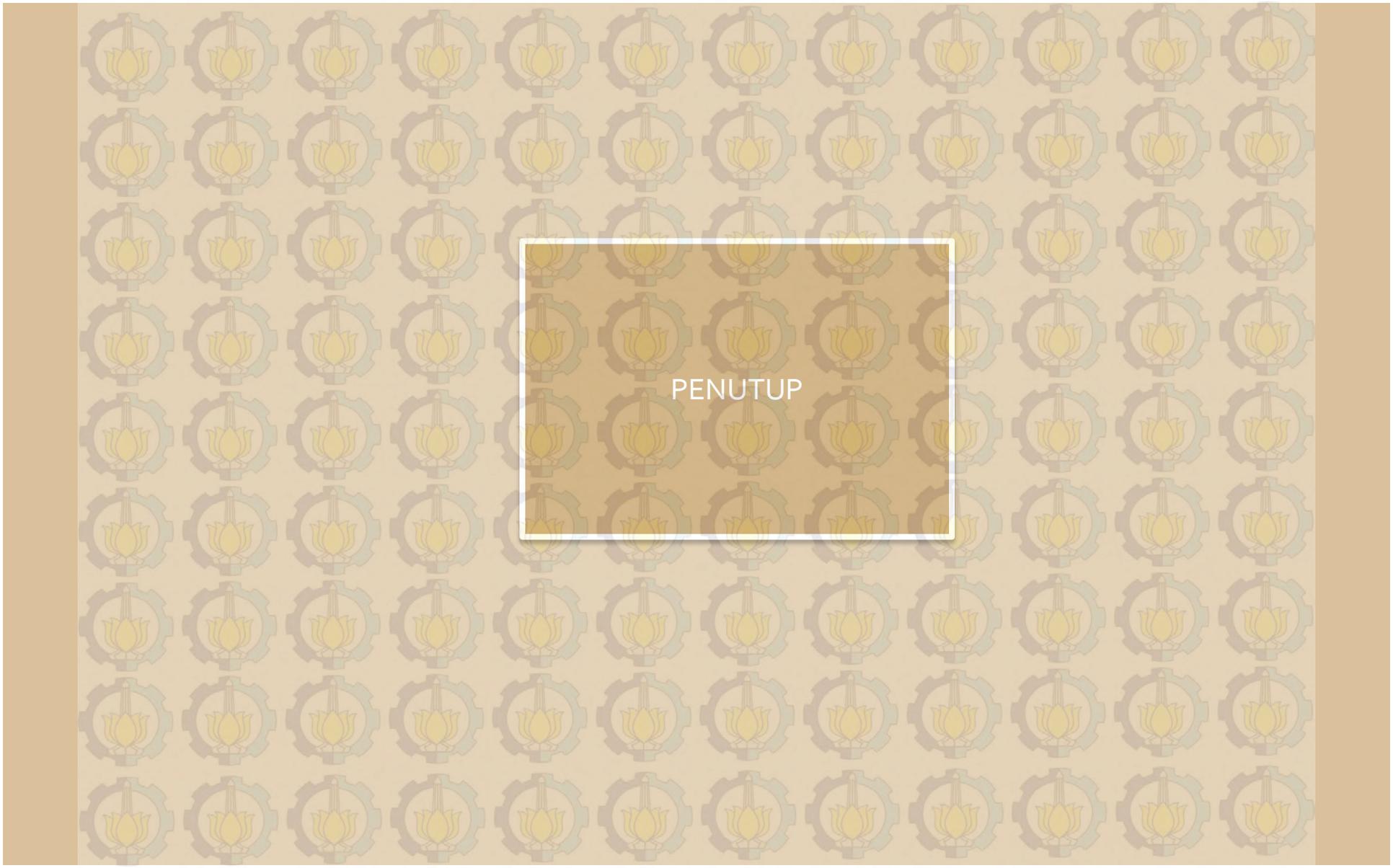
| Karakteristik      | Set point | Steady State | Rise Time | Settling time | Error steady state |
|--------------------|-----------|--------------|-----------|---------------|--------------------|
| Tanpa NN flux ref  | 120       | 119.8 rps    | 0.24 s    | 0.45 s        | 0.16%              |
| Dengan NN flux ref | 120       | 119.6 rps    | 0.16078 s | 0.336 s       | 0.33%              |

# Hasil Simulasi Motor Induksi setelah menggunakan *Neural Network Flux Reference (3)*



Sudut Alpha





PENUTUP

## KESIMPULAN

1. Respon hasil fluks estimasi antara estimator konvensional dengan *neural network* estimator hasilnya sama dikarenakan nilai bobot untuk *neural network* sama dengan nilai tahanan stator yaitu - 1,77.
2. Karena nilai fluks stator hasil *neural network* fluks estimator sama dengan estimator konvensional, maka respon sudut *alpha* masih belfluktuasi.
3. Respon kecepatan motor induksi yang dikontrol menggunakan DTC lebih baik dibandingkan dengan saat belum dikontrol dengan DTC, karena respon dengan DTC mampu mengikuti *set point* yang diberikan yaitu sebesar 120 rps.
4. Respon kecepatan motor induksi DTC menggunakan kontroler PID-LQR lebih baik dibandingkan dengan tanpa kontroler PID-LQR.
5. Respon torsi motor induksi DTC menggunakan kontroler PID-LQR lebih baik dibandingkan dengan tanpa kontroler PID-LQR karena lebih sedikit terjadi fluktuasi.
6. Respon kecepatan actual hasil *neural network flux reference* mampu menyamai dengan respon kecepatan yang diinginkan.
7. Setelah menggunakan *neural network flux reference*, sudut *alpha* diketahui tidak terjadi fluktuasi.

## SARAN

1. Pembuatan *neural network* dapat dikaji dan dikembangkan lagi agar hasilnya lebih baik.
2. Hasil perancangan sistem dapat diimplementasikan pada *plant* yang nyata.

The background of the slide features a repeating pattern of a yellow lotus flower inside a grey gear, set against a light beige background. The text "Terima Kasih" is centered in a red, 3D-style font.

**Terima Kasih**