





Pengendali *Proportional Integral* (PI) Berbasis *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) untuk Pengendalian Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* (BLDC)

Andi Bau Restu Wardana Ardham

D41116319

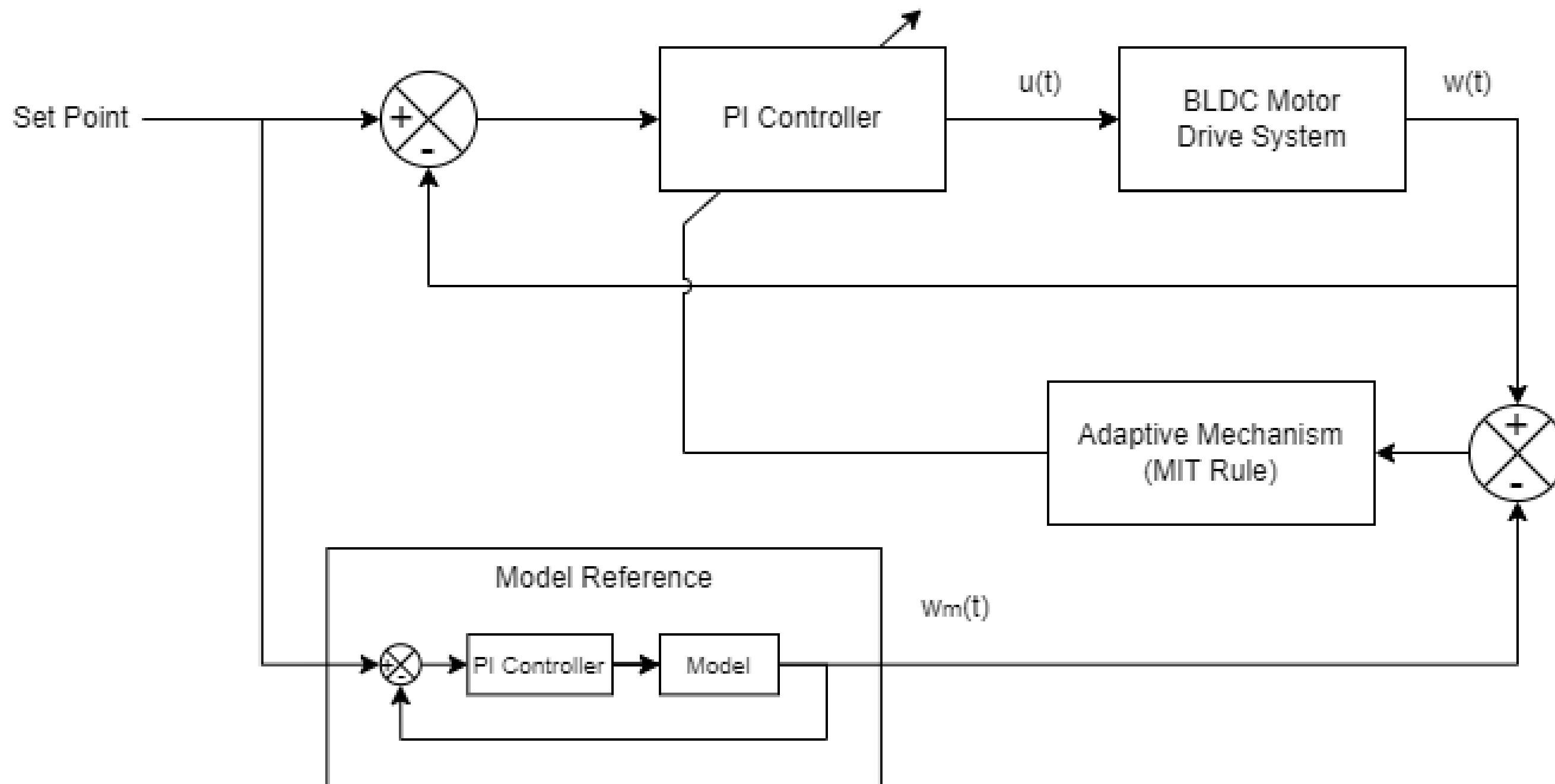
Pembimbing I : Dr. Ir. H. Rhiza S. Sadjad, MSEE.

Penguji I : Prof. Dr.-Eng. Faizal Arya Samman, S.T., M.T.

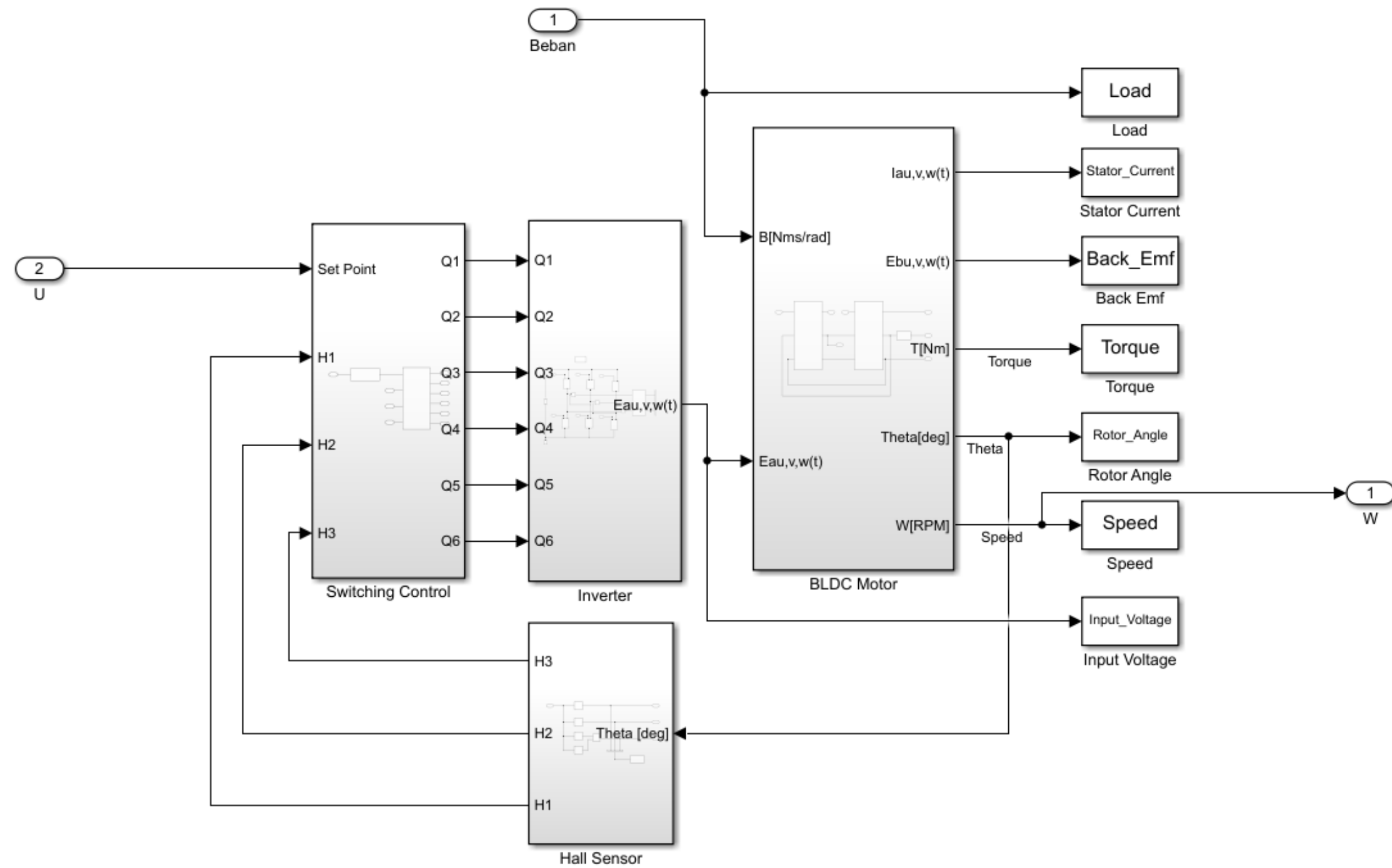
Pembimbing II : Dr. Hj. A. Ejah Umraeni Salam, S.T., M.T.

Penguji II : Ida Rachmaniar Sahali, S.T., M.T.

Diagram Blok Sistem Perancangan



Plant Kendalian



Mekanisme Penyesuaian Parameter Kontroler dengan Aturan MIT

Dalam aturan MIT, parameter kontroler disesuaikan sedemikian rupa sehingga meminimalkan fungsi biaya, dimana persamaannya:

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2$$

dan,

$$e = y - y_m$$

Untuk membuat J sekecil mungkin, maka dilakukan perubahan parameter kendali θ dalam arah negatif terhadap gradien J , sehingga persamaan aturan MIT :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta}$$

Dimana, koefisien γ adalah koefisien laju adaptasi

Dengan menerapkan aturan MIT, dimana mengganti parameter θ dengan K_p dan K_i , sehingga diperoleh:

- Parameter K_p

$$\frac{dK_p}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial K_p} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial K_p}$$

$$K_p = -\frac{\gamma}{s} e \frac{b_0 s}{s^3 + a_1 s^2 + (a_2 + b_0 K_p)s + b_0 K_i} (u_c - y)$$

- Parameter K_i

$$\frac{dK_i}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial K_i} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial K_i}$$

$$K_i = -\frac{\gamma}{s} e \frac{b_0 s}{s^3 + a_1 s^2 + (a_2 + b_0 K_p)s + b_0 K_i} (u_c - y)$$

Penentuan Model Referensi

Model referensi yang digunakan, dibangun melalui persamaan (3.17), dengan menentukan $\zeta = 1$ dan $t_s = 0.02$, sehingga didapatkan $\omega_n = 200$ yang mana didasarkan pada kriteria 2% untuk nilai settling time. Selanjutnya diasumsikan bahwa $\frac{K_t}{r_a B_v + K_t K_e} = K_x$. Agar output model referensi (y_m) = 5000 RPM dengan $V_{dc} = 310$ volt maka diperoleh $K_x = 1.68903$, sehingga diperoleh fungsi alih:

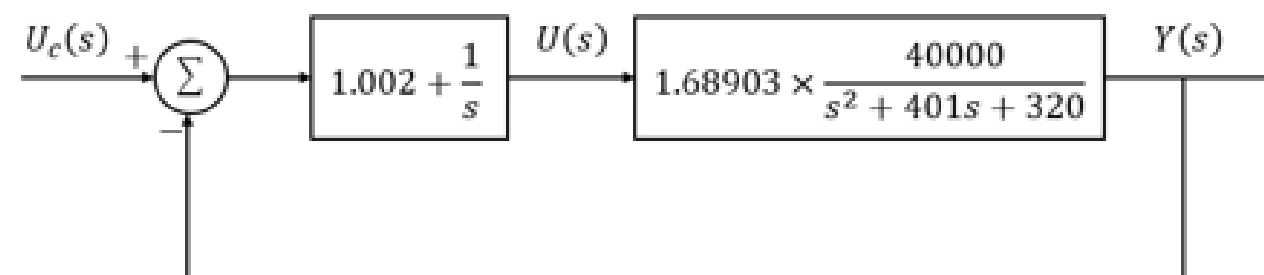
$$G_m(s) = 1.68903 \cdot \frac{40000}{s^2 + 400s + 40000} \quad (3.20)$$

Berdasarkan pada persamaan (3.4) bahwa fungsi alih model referensi diasumsikan ke dalam bentuk fungsi alih orde 3, sehingga dengan dilakukan pendekatan pada persamaan (3.20) yang mana sifat dari fungsi alihnya merupakan sistem *critically damped*, dan lokasi *pole*-nya yaitu $p_1 = p_2 = -200$.

Agar mempertahankan karakteristik yang sama, sehingga dibutuhkan fungsi alih sistem loop tertutup dengan kontroler PI yang juga memiliki lokasi *pole*-nya yaitu $p_1 = p_2 = -200$ yang dominan. maka diperoleh:

$$G_m(s) = 1.68903 \cdot \frac{40040s + 40000}{s^3 + 401s^2 + 40400s + 40000} \quad (3.21)$$

atau blok diagram loop tertutupnya:



$$G_u(s) = \frac{\omega_m(s)}{U_d(s)} = \frac{K_t}{r_a B_v + K_t K_e} \cdot \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$G_m(s) = \frac{Y_m(s)}{U_c(s)} = \frac{b_{m0}s + a_{m3}}{s^3 + a_{m1}s^2 + a_{m2}s + a_{m3}}$$

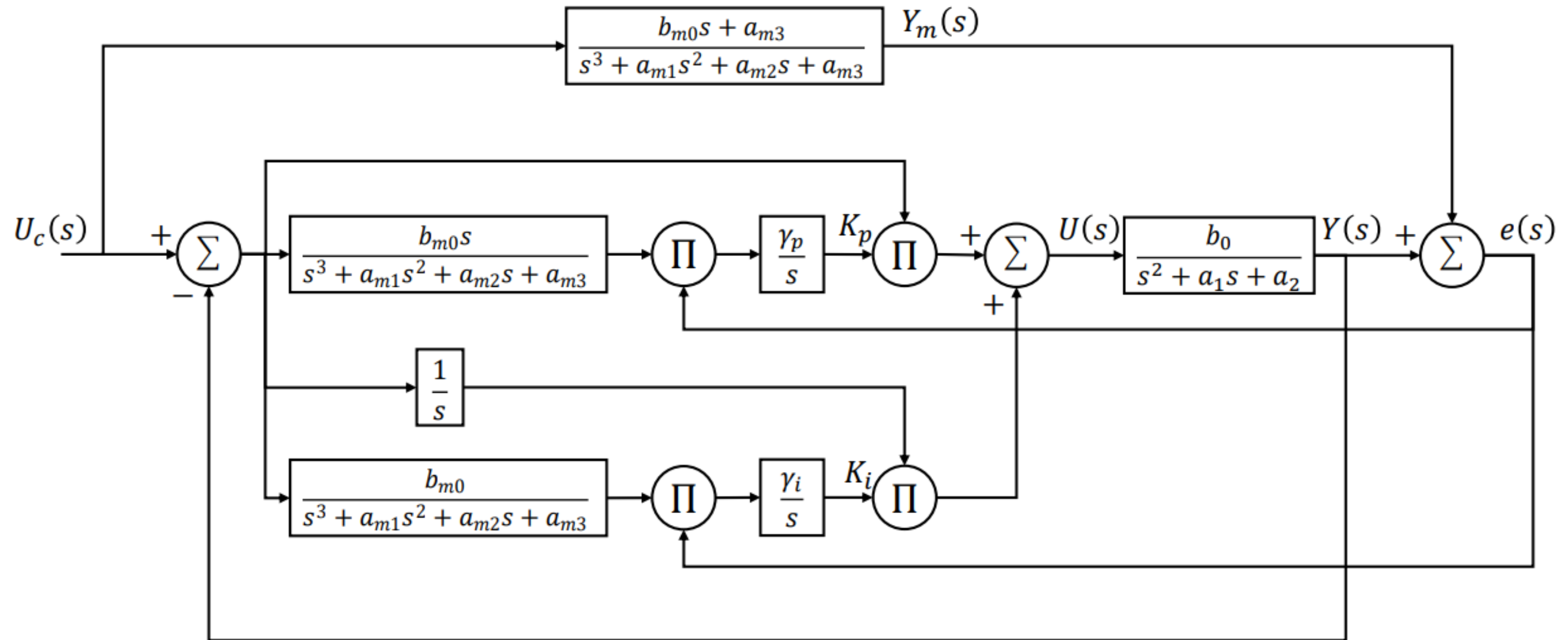
Penentuan Parameter Kontroler

Pada persamaan (3.15) dan (3.16) nilai parameter gain tidak dapat ditentukan karena nilai b_0 , a_1 , a_2 , dan a_3 tidak diketahui. Sehingga persamaan yang diturunkan dari aturan MIT belum dapat digunakan. Olehnya itu diperlukan beberapa pendekatan, menganggap sistem merupakan model yang ideal dengan membandingkan sistem dengan model referensi, maka diasumsikan denominator sistem sama dengan denominator model referensi.

$$K_p = -\frac{\gamma}{s} e \frac{1.68903 \cdot 40040s}{s^3 + 401s^2 + 40400s + 40000} (u_c - y) \quad (3.26)$$

$$K_i = -\frac{\gamma}{s} e \frac{1.68903 \cdot 40040}{s^3 + 401s^2 + 40400s + 40000} (u_c - y) \quad (3.27)$$

Disain Pengendali PI Berbasis MRAC



Revisi

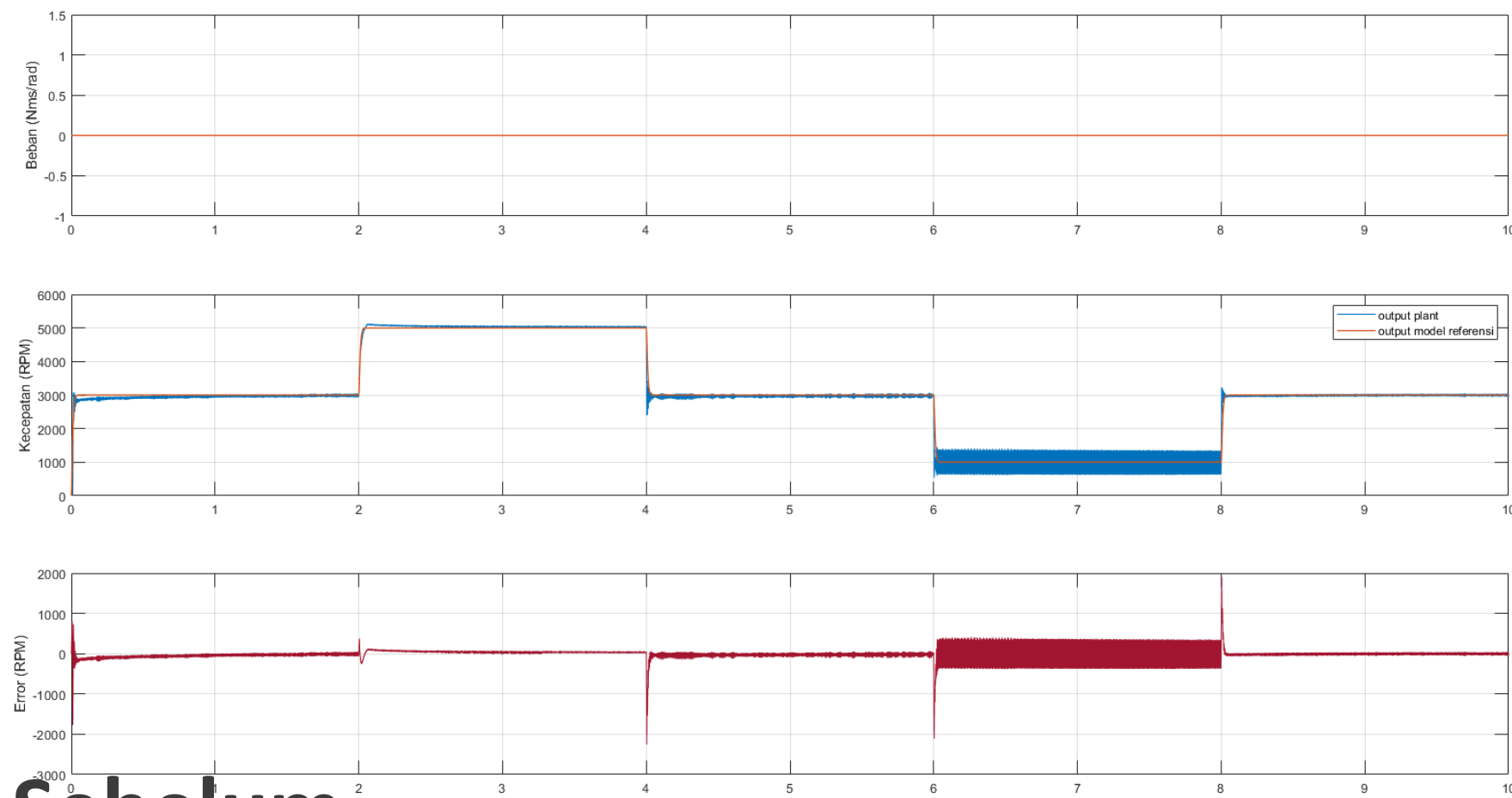


Prof. Dr-Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T.



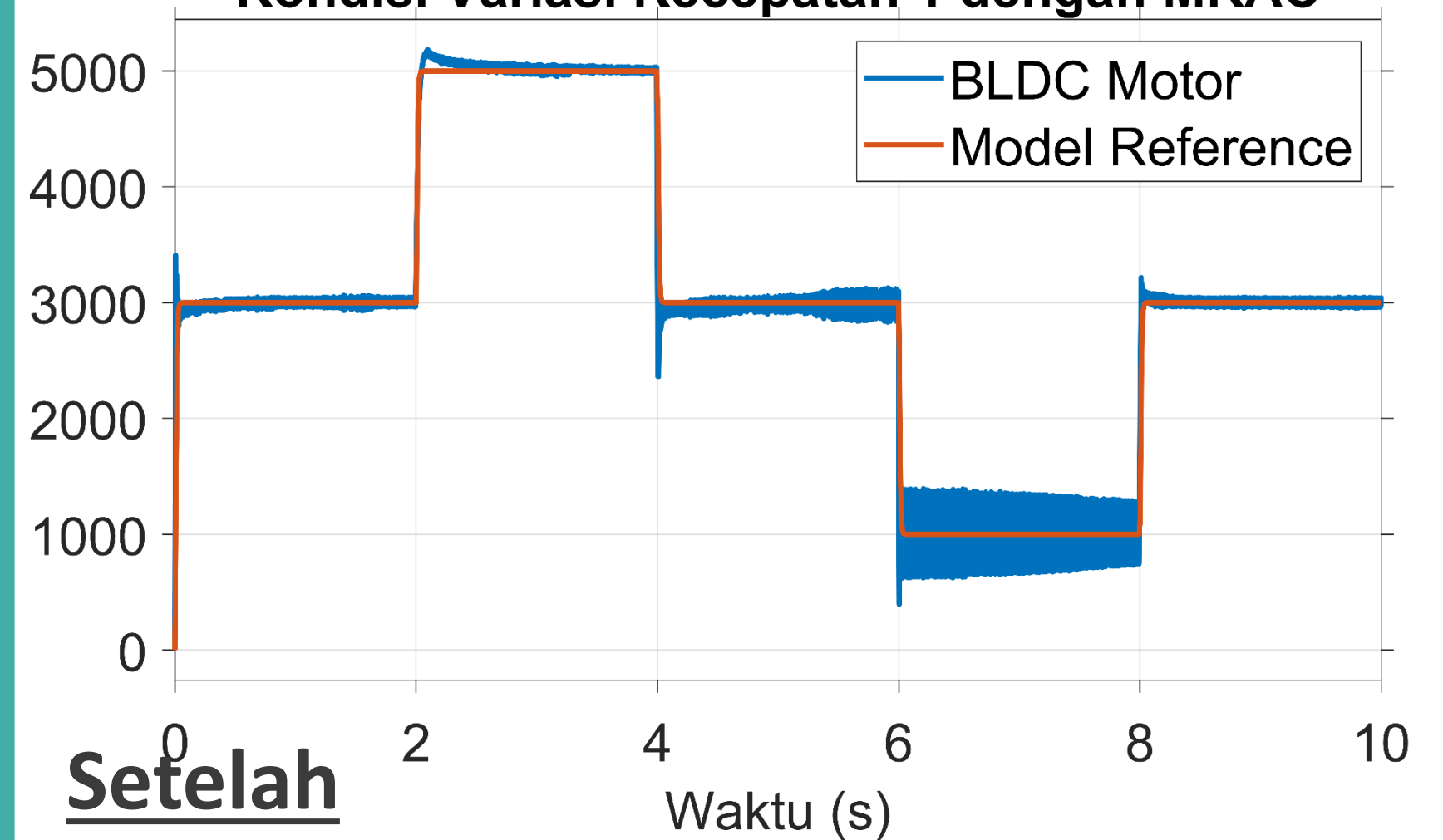
- Penampilan untuk setiap grafis diperbaiki

Perbaikan Penampilan Grafik



Sebelum

Kondisi Variasi Kecepatan 1 dengan MRAC



Setelah

Perbaikan penampilan grafik dapat dilihat pada halaman 29-44

Dr. Ir. H. Rhiza S. Sadjad, MSEE.



- Revisi redaksi kalimat judul penelitian
- Pada model referensi, jika digambarkan dengan K_p dan K_i , berapa nilai K_p dan K_i -nya?
- Nilai K_p dan K_i terbaik, dijadikan sebagai nilai awal parameter pengendali untuk setiap simulasi *adaptive scheme*
- Pada grafik gangguan terlihat ada nilai parameter pengendali yang tidak mencapai konvergensi
- Pada kesimpulan, bandingkan dengan tanpa *adaptive scheme*

Revisi Redaksi Kalimat Judul Penelitian

PEMODELAN DAN SIMULASI PI-MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR BRUSHLESS DIRECT CURRENT

Andi Bau Restu Wardana Ardham¹, Rhiza Samsoe'oad Sadjad², A. Ejah Umraeni Salam³

¹Mahasiswa Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

^{2,3}Dosen Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Abstrak

Pada umumnya motor BLDC secara luas digunakan sebagai aplikasi servo/sistem pelacakan posisi atau aplikasi kecepatan variabel dimana memiliki variasi parameter yang berubah-ubah sehingga mempengaruhi respon sistem. Respon sistem yang baik dan presisi kecepatan yang tinggi menjadi hal yang sangat penting sehingga untuk memenuhi performa tersebut dibutuhkan skema pengendalian yang lebih maju. Skema *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) merupakan salah satu metode kendali adaptif yang mana dikembangkan untuk meminimalkan pengaruh perubahan parameter dan gangguan dari luar. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan sistem kendali untuk pengendalian kecepatan motor BLDC dengan menggunakan skema MRAC yang dimodifikasi untuk mengatur adaptasi parameter pengendali PI terhadap perubahan parameter dari beban. Simulasi dilakukan dengan kondisi pemberian *setpoint* yang bervariasi dan dalam kondisi beban yang berubah-ubah, dengan nilai $\gamma_p = 1$ dan $\gamma_i = 1$ sebagai laju adaptasi parameter

Sebelum

SKRIPSI

PENGENDALI PROPORTIONAL INTEGRAL (PI) BERBASIS MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC) UNTUK PENGATURAN KECEPATAN MOTOR BRUSHLESS DIRECT CURRENT (BLDC)

Disusun dan diajukan oleh

ANDI BAU RESTU WARDANA ARDAM

D411 16 319

Setelah



Perbaikan redaksi kalimat judul penelitian dapat dilihat pada halaman sampul dan halaman judul

Revisi Model Referensi

$$dt \quad s^3 + a_1 s^2 + (a_2 + b_0 K_p) s + b_0 K_i \quad (24)$$

1) Penentuan Model Referensi

Model referensi yang digunakan, dibangun melalui persamaan (4), dengan menentukan $\zeta = 1$ dan $t_s = 0.02$, sehingga didapatkan $\omega_n = 200$ yang mana didasarkan pada kriteria 2% untuk nilai settling time. Selanjutnya diasumsikan bahwa $\frac{K_t}{r_a B_v + K_t K_e} = K_x$. Agar output model referensi (y_m) = 5000 RPM dengan $V_{dc} = 310 \text{ volt}$ maka diperoleh $K_x = 1.68903$, maka diperoleh fungsi alih:

$$G_m(s) = 1.68903 \cdot \frac{40000}{s^2 + 400s + 40000} \quad (25)$$

Berdasarkan pada persamaan (13) bahwa fungsi alih model referensi diasumsikan ke dalam bentuk fungsi alih orde 3, sehingga dengan dilakukan pendekatan pada persamaan (25), maka diperoleh persamaan model referensi:

$$G_m(s) = 1.68903 \cdot \frac{40000s + 40000}{s^3 + 401s^2 + 40400s + 40000} \quad (26)$$

2) Penentuan Parameter Kontroler

Pada persamaan (23) dan (24) nilai parameter gain tidak dapat ditentukan karena nilai b_0 , a_1 , a_2 , dan a_3 tidak diketahui. Sehingga persamaan yang

5000 RPM dengan $V_{dc} = 310 \text{ volt}$ maka diperoleh $K_x = 1.68903$, sehingga diperoleh fungsi alih:

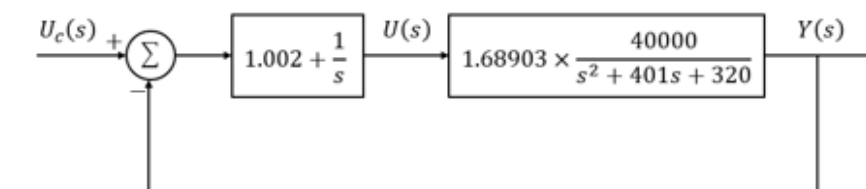
$$G_m(s) = 1.68903 \cdot \frac{40000}{s^2 + 400s + 40000} \quad (3.20)$$

Berdasarkan pada persamaan (3.4) bahwa fungsi alih model referensi diasumsikan ke dalam bentuk fungsi alih orde 3, sehingga dengan dilakukan pendekatan pada persamaan (3.20) yang mana sifat dari fungsi alihnya merupakan sistem *critically damped*, dan lokasi *pole*-nya yaitu $p_1 = p_2 = -200$.

Agar mempertahankan karakteristik yang sama, sehingga dibutuhkan fungsi alih sistem loop tertutup dengan kontroler PI yang juga memiliki lokasi *pole*-nya yaitu $p_1 = p_2 = -200$ yang dominan. maka diperoleh:

$$G_m(s) = 1.68903 \cdot \frac{40040s + 40000}{s^3 + 401s^2 + 40400s + 40000} \quad (3.21)$$

atau blok diagram loop tertutupnya:



Gambar 3.5 Diagram Blok Model Referensi

Setelah

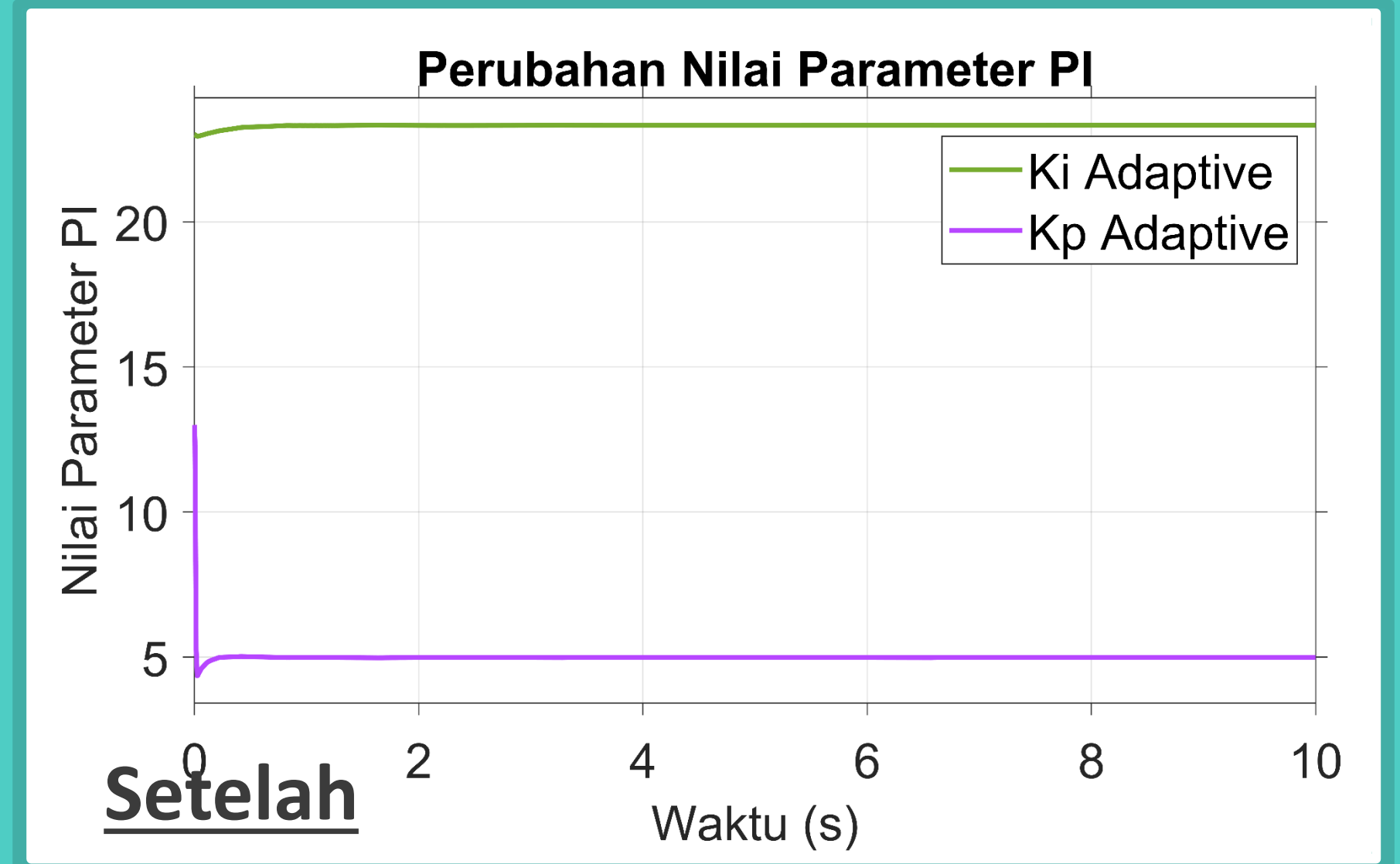
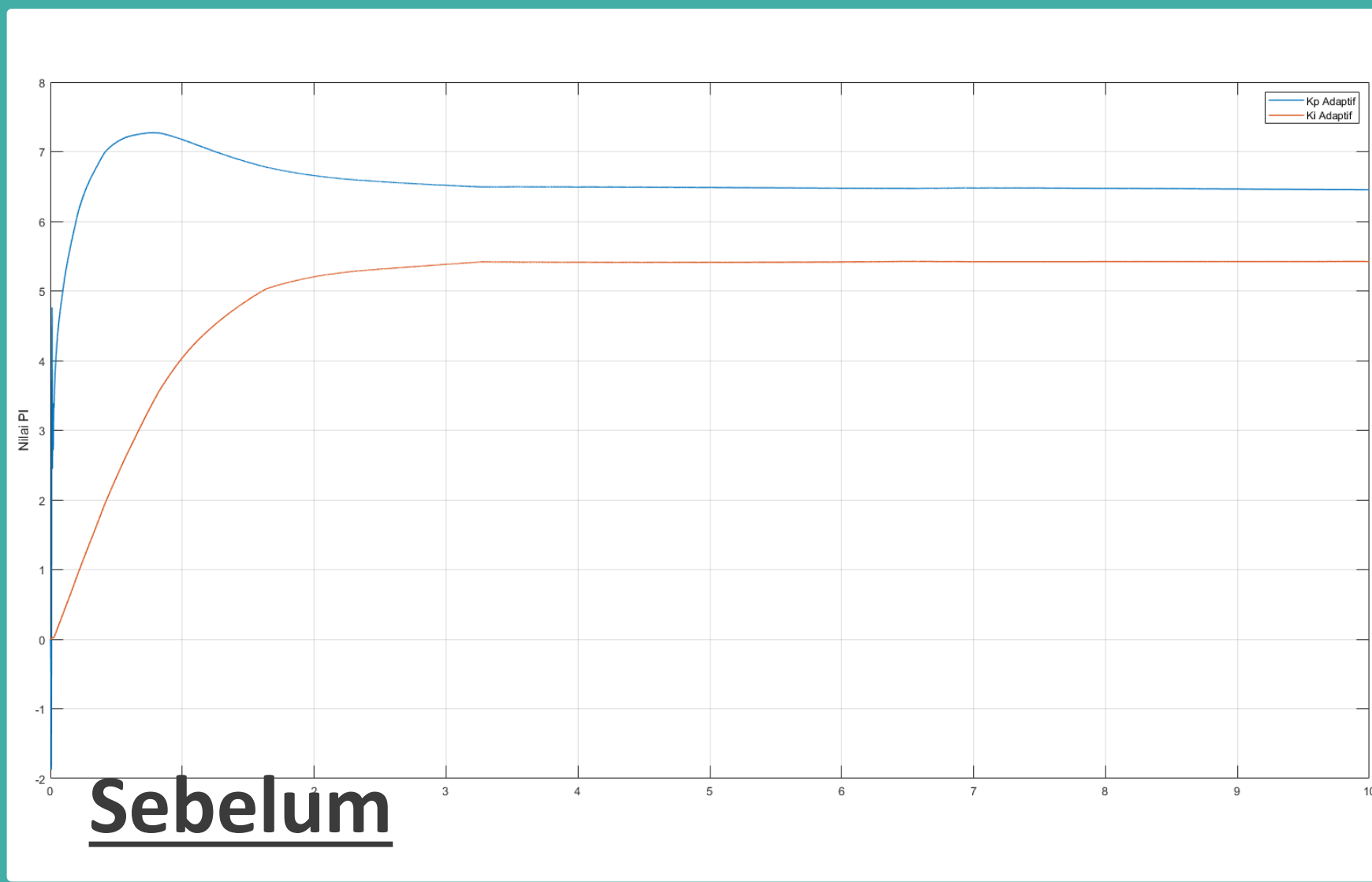
3.4.3 Penentuan Parameter Kontroler

Kalo diasumsikan dengan Kp & Ki berapa Kp dan Ki

Sebelum

Nilai Kp dan Ki untuk model referensi dapat dilihat pada halaman 23-24

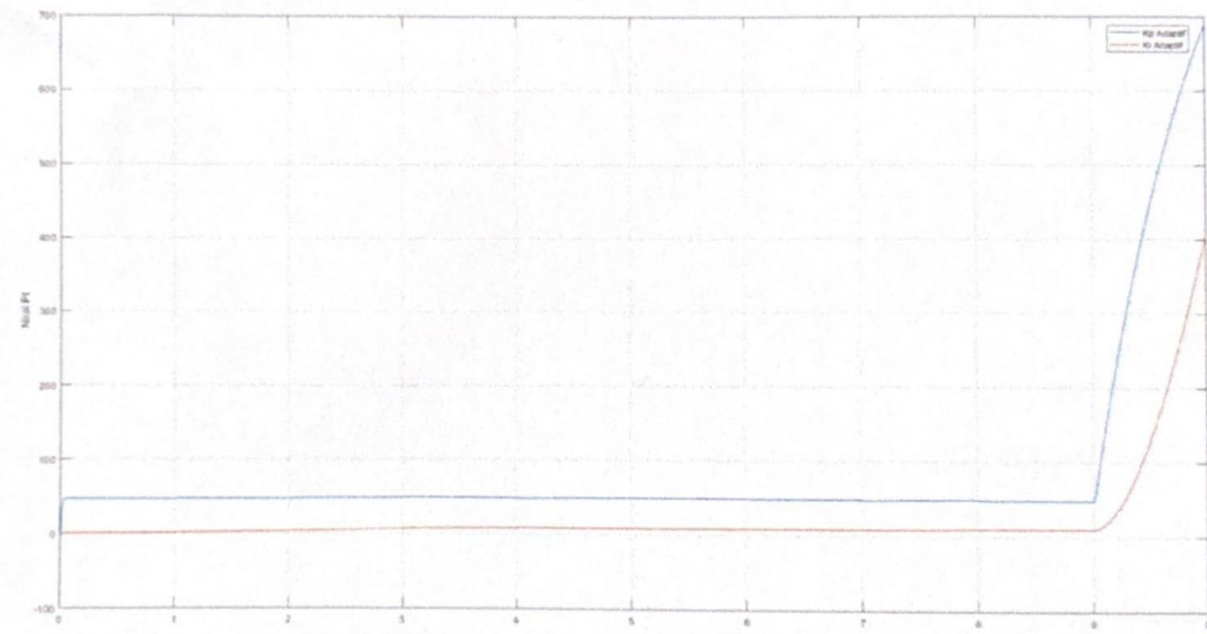
Revisi Nilai Awal Parameter PI



Nilai awal untuk parameter PI ditentukan dari nilai terbaik dari Kp dan Ki, dapat dilihat pada grafik perubahan nilai parameter PI pada halaman 32, 37, 39, 40 dan 44

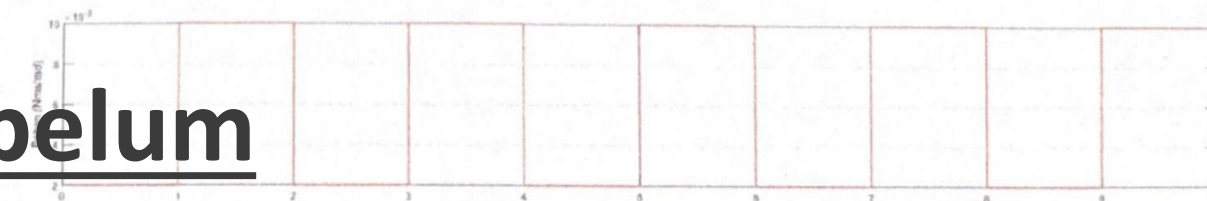
Masalah Tidak Konvergensi

Berikut merupakan perubahan nilai Kp dan Ki dari pengendali MRAC.

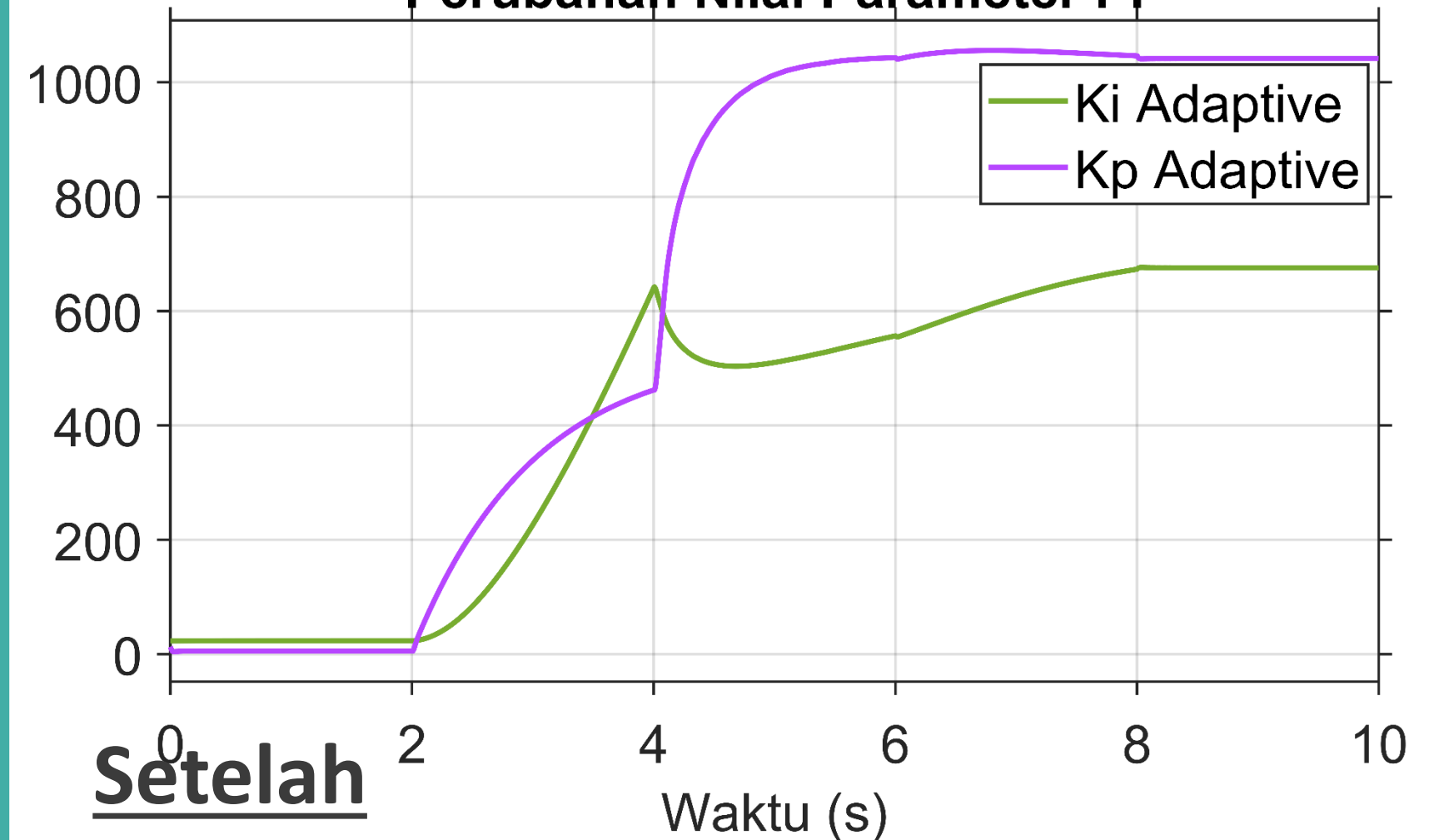


3) Variasi 3

Sebelum



Perubahan Nilai Parameter PI



Setelah

Skenario pengujian gangguan telah diubah berdasarkan dengan *initial condition* yang dapat dikendalikan oleh MRAC, sehingga dapat mengurangi ketidakkonvergensi yang terlalu besar, dapat dilihat pada halaman 42-44

Revisi Kesimpulan

Gangguan	MRAC	379.4593	346.5709	373.4764
----------	------	----------	----------	----------

Pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa motor BLDC dengan pengendali MRAC memiliki respon yang lebih baik dilihat dari nilai RMSE-nya

4. Kesimpulan

- 1) Pada paper ini, dirancang sebuah pengendali MRAC dengan menggunakan aturan MIT untuk mengendalikan kecepatan pada motor BLDC, yang mana pengendali tersebut dimodifikasi sedemikian rupa sehingga dapat mengadaptasi nilai parameter pada pengendali PI sehingga diperoleh pengendali yang adaptif.
- 2) Berdasarkan hasil simulasi bahwa motor BLDC dengan pengendali MRAC memiliki respon yang lebih baik, dari segi nilai RMSE, dan *overshoot*-nya pada kondisi transien yaitu RMSE = 52.0661 an maksimal *overshoot* = 2.43% , sedangkan pada kondisi dengan gangguan MRAC dapat menurunkan nilai RMSE dari kecepatan BLDC sebesar 2.6% sampai 16.6% dari nilai RMSE dengan PI konvensional.

5. Daftar Pustaka

- [1] M. A. S. Ali, "Speed Control of High Performance Brushless DC Motor," Helwan University, Helwan Cairo, 2016.

Sebelum

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Pada penelitian ini, dirancang sebuah pengendali MRAC dengan menggunakan aturan MIT untuk mengendalikan kecepatan pada motor BLDC, yang mana pengendali tersebut dimodifikasi sedemikian rupa sehingga dapat mengadaptasi nilai parameter pada pengendali PI sehingga diperoleh pengendali yang adaptif.
2. Berdasarkan hasil simulasi bahwa motor BLDC dengan pengendali MRAC memiliki respon yang lebih baik, dari segi nilai RMSE. Dimana pada pengujian kondisi transien, RMSE untuk pengendali PI = 56.0343 sedangkan RMSE pengendali MRAC = 54.2498. Pada pengujian variasi kecepatan, RMSE untuk pengendali PI = 152.4606, 151.9852 dan 150.6768 sedangkan RMSE pada MRAC = 142.5456, 154.6251, dan 146.7196. Pada pengujian dengan gangguan, RMSE pengendali PI = 511.9931 sedangkan RMSE pengendali MRAC = 430.5421.

Setelah

Perbaikan kesimpulan dapat dilihat pada halaman 45

Terima Kasih

