

# **IDENTIFIKASI DAN IMPLEMENTASI *SELF-TUNING SYSTEM* BERBASIS *RADIAL BASIS FUNCTION* PADA KENDALI PID UNTUK *REACTION WHEEL***

**DANIEL RANGGA HARDIANTO WIBOWO**



**TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER  
SEKOLAH VOKASI  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University  
— Bogor Indonesia —

- 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 IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



## @Hak cipta milik IPB University

### 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 IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan akhir dengan judul “Identifikasi dan Implementasi *Self-Tuning System* Berbasis *Radial Basis Function* pada Kendali PID untuk *Reaction Wheel*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir laporan akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Daniel Rangga Hardianto Wibowo  
J0304211152



## @Hak cipta milik IPB University

### 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 IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## ABSTRAK

DANIEL RANGGA HARDIANTO WIBOWO. Identifikasi dan Implementasi *Self-Tuning System* Berbasis *Radial Basis Function* pada Kendali PID untuk *Reaction Wheel*. Dibimbing oleh SHELVIE NIDYA NEYMAN

*Reaction wheel* merupakan aktuator pada sistem kendali sikap satelit yang menghasilkan torsi berdasarkan prinsip kekekalan momentum sudut. Pengendali PID konvensional memerlukan *tuning* manual dan kurang adaptif terhadap perubahan kondisi operasi maupun gangguan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik dinamik *reaction wheel*, merancang pengendali *self-tuning* PID berbasis *Radial Basis Function Neural Network*, serta mengevaluasi kinerjanya. Identifikasi sistem dilakukan menggunakan model Hammerstein–Wiener dan *Nonlinear AutoRegressive with eXogenous Input* untuk hubungan PWM–arus dan arus–kecepatan. Hasil identifikasi menghasilkan nilai *best fit* sebesar 97,11% dan 99,14%. Sistem kendali menggunakan struktur *cascade* dengan *loop* dalam berupa pengendali PI arus dan *loop* luar berupa pengendali RBF-PID kecepatan. Pada pengujian nominal, pengendali menghasilkan *settling time* sebesar 93,5 detik, *overshoot* sebesar 44,55 RPM, dan arus puncak sebesar 1026,85 mA. Dibandingkan pengendali PI konvensional, metode yang diusulkan memperpendek *settling time* sebesar 6,5%, menurunkan *overshoot* sebesar 25,7%, serta mengurangi arus puncak sebesar 13%. Pada gangguan beban torsi sebesar 0,2 Nm, sistem menghasilkan RMSE sebesar 43,24 RPM dan 44,40 RPM pada kondisi *noise* pengukuran. Implementasi pada mikrokontroler STM32L4R5ZI menghasilkan waktu eksekusi rata-rata 75  $\mu$ s dengan beban CPU 8,3%.

Kata kunci: *Hammerstein–Wiener*, *Nonlinear AutoRegressive with eXogenous Input*, *reaction wheel*, *Radial Basis Function Neural Network*, *self-tuning PID*



## @Hak cipta milik IPB University

### 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 IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## ABSTRACT

DANIEL RANGGA HARDIANTO WIBOWO. Identification and Implementation of a Radial Basis Function-Based Self-Tuning System for PID Control of a Reaction Wheel. Supervised by SHELVIE NIDYA NEYMAN

A reaction wheel is an actuator in satellite attitude control systems that generates torque based on the conservation of angular momentum. Conventional PID controllers require manual tuning and lack adaptability to changing operating conditions and disturbances. This study identifies the dynamic characteristics of a reaction wheel, designs a self-tuning PID controller based on a Radial Basis Function Neural Network, and evaluates its performance. System identification was performed using Hammerstein–Wiener and Nonlinear AutoRegressive with eXogenous Input models for the PWM–current and current–speed relationships. The identified models achieved best-fit values of 97.11% and 99.14%, respectively. The proposed control system employed a cascade structure with an inner PI current loop and an outer RBF-PID speed loop. Under nominal conditions, the controller achieved a settling time of 93.5 s, an overshoot of 44.55 RPM, and a peak current of 1026.85 mA. Compared with a conventional PI controller, the proposed method reduced settling time by 6.5%, overshoot by 25.7%, and peak current by 13%. Under a 0.2 Nm torque disturbance, the system achieved RMSE values of 43.24 RPM and 44.40 RPM under measurement noise. Implementation on an STM32L4R5ZI microcontroller achieved an average execution time of 75  $\mu$ s with an 8.3% CPU load.

**Keywords:** Hammerstein–Wiener, Nonlinear AutoRegressive with eXogenous Input, Radial Basis Function Neural Network, reaction wheel, self-tuning PID



@Hak cipta milik IPB University

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 IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.*

# **IDENTIFIKASI DAN IMPLEMENTASI *SELF-TUNING SYSTEM* BERBASIS *RADIAL BASIS FUNCTION* PADA KENDALI PID UNTUK *REACTION WHEEL***

**DANIEL RANGGA HARDIANTO WIBOWO**

Laporan Akhir  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Terapan  
Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer

**TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER  
SEKOLAH VOKASI  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji pada ujian Laporan Akhir: Dr. Heriyanto Syafutra, M.Si.



IPB University  
— Bogor Indonesia —

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 IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Judul Proyek Akhir : Identifikasi dan Implementasi *Self-Tuning System* Berbasis *Radial Basis Function* pada Kendali PID untuk *Reaction Wheel*

Nama : Daniel Rangga Hardianto Wibowo  
NIM : J0304211152

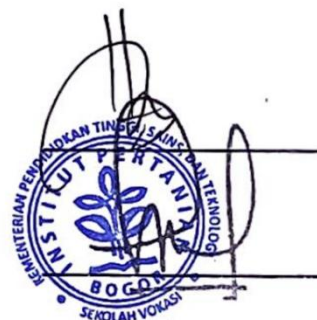
Disetujui oleh

Pembimbing:  
Dr. Shelvie Nidya Neyman, S.Kom, M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Dr. Inna Novianty, S.Si., M. Si.  
NPI. 201811198611192014

Dekan Sekolah Vokasi:  
Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T.  
NIP 196607171992031003



Tanggal Ujian:  
4 Juni 2026

Tanggal Lulus:



## @Hak cipta milik IPB University

### 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 IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## PRAKATA

Penulis memulai prakata ini dengan menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kerja sama selama proses penyusunan karya ilmiah ini. Berkat dukungan tersebut, penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik sesuai rencana. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2025 ini ialah Pengembangan Sistem Kendali untuk *Reaction Wheel* Berbasis *Radial Basis Function Neural Network*, dengan judul “Identifikasi dan Implementasi *Self-Tuning System* Berbasis *Radial Basis Function* pada Kendali PID untuk *Reaction Wheel*”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada dosen pembimbing, Dr. Shelve Nidya Neyman, S.Kom., M.Si. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Hasan Mayditia, S.Si., M.T. selaku pembimbing lapang dari Pusat Riset Teknologi Satelit BRIN yang telah memberikan ilmu, arahan, dan masukan selama penelitian berlangsung yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dan kasih sayangnya. Apresiasi juga disampaikan kepada keluarga dan rekan-rekan Teknologi Rekayasa Komputer 58 yang telah memberikan dukungan, perhatian, dan semangat selama proses penelitian ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2026

*Daniel Rangga Hardianto Wibowo*



## @Hak cipta milik IPB University

### 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 IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## DAFTAR ISI

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| DAFTAR TABEL                                               | vi  |
| DAFTAR GAMBAR                                              | vi  |
| DAFTAR LAMPIRAN                                            | vii |
| I PENDAHULUAN                                              | 1   |
| 1.1 Latar Belakang                                         | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah                                        | 2   |
| 1.3 Tujuan                                                 | 3   |
| 1.4 Manfaat                                                | 3   |
| 1.5 Ruang Lingkup                                          | 3   |
| II TINJAUAN PUSTAKA                                        | 4   |
| 2.1 Sistem Dinamik                                         | 4   |
| 2.2 Identifikasi Sistem                                    | 4   |
| 2.3 Sistem Kendali Sikap Satelit                           | 5   |
| 2.4 Motor <i>Brushless DC</i>                              | 7   |
| 2.5 Reaction Wheel                                         | 8   |
| 2.6 Kendali PID                                            | 9   |
| 2.7 Kendali Bertingkat                                     | 10  |
| 2.8 <i>RBF Neural Network</i> Untuk Adaptasi Parameter PID | 11  |
| 2.9 Implementasi Sistem Kendali Pada Mikrokontroler        | 13  |
| III METODE                                                 | 15  |
| 3.1 Lokasi dan Waktu Proyek Akhir                          | 15  |
| 3.2 Teknik Pengumpulan Data Eksperimen dan Analisis Data   | 15  |
| 3.3 Prosedur Kerja                                         | 15  |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN                                    | 17  |
| 4.1 Identifikasi dan Pemodelan Reaction Wheel              | 17  |
| 4.2 Perancangan Kendali                                    | 23  |
| 4.3 Hasil Pengendalian dan Analisis Performansi            | 29  |
| 4.4 Pengujian Respons Sistem Terhadap Gangguan             | 31  |
| 4.5 Evaluasi Beban Komputasi dan Penggunaan Memori         | 35  |
| V SIMPULAN DAN SARAN                                       | 37  |
| 5.1 Simpulan                                               | 37  |
| 5.2 Saran                                                  | 37  |
| DAFTAR PUSTAKA                                             | 39  |
| LAMPIRAN                                                   | 42  |
| RIWAYAT HIDUP                                              | 58  |



## DAFTAR TABEL

|   |                                                   |    |
|---|---------------------------------------------------|----|
| 1 | Perbandingan kinerja pengendali                   | 30 |
| 2 | Perbandingan kinerja pengendali saat uji gangguan | 34 |
| 3 | Penggunaan memori                                 | 36 |

## DAFTAR GAMBAR

|    |                                                                                          |    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Diagram Blok <i>Hammerstein-Wiener</i>                                                   | 5  |
| 2  | Arsitektur sistem kendali sikap satelit                                                  | 6  |
| 3  | <i>Flow</i> sistem kendali sikap satelit                                                 | 7  |
| 4  | Konstruksi <i>reaction wheel</i>                                                         | 8  |
| 5  | Struktur Kendali Bertingkat                                                              | 10 |
| 6  | Struktur RBFNN                                                                           | 12 |
| 7  | Diagram blok arsitektur RBFNN dengan estimasi <i>jacobian</i> untuk Parameter PID        | 13 |
| 8  | Prosedur kerja penelitian                                                                | 15 |
| 9  | <i>Reaction wheel</i> ditempatkan di atas permukaan rata dan stabil                      | 17 |
| 10 | Skema pelaksanaan eksperimen                                                             | 17 |
| 11 | Grafik sinyal PWM terhadap waktu                                                         | 18 |
| 12 | Grafik arus motor terhadap waktu                                                         | 18 |
| 13 | Grafik RPM terhadap waktu                                                                | 19 |
| 14 | Hasil pemodelan PWM terhadap arus (mA)                                                   | 21 |
| 15 | Hasil pemodelan arus (mA) terhadap RPM                                                   | 22 |
| 16 | Diagram blok kendali cascade RBF-PID-PI                                                  | 23 |
| 17 | Struktur simulasi kendali cascade RBF-PID-PI dalam lingkungan Simulink                   | 23 |
| 18 | Diagram alir kendali                                                                     | 28 |
| 19 | Skema pengujian                                                                          | 29 |
| 20 | Respons sistem terhadap perubahan referensi kecepatan                                    | 29 |
| 21 | Perubahan parameter Kp, Ki, dan Kd secara <i>online</i> selama proses pengendalian       | 30 |
| 22 | Perubahan parameter Kp, Ki, dan Kd secara <i>online</i> selama proses uji gangguan torsi | 32 |
| 23 | Konfigurasi <i>noise power</i> pada MATLAB                                               | 32 |
| 24 | Sinyal kecepatan terukur dengan noise                                                    | 33 |
| 25 | Respons kecepatan motor terhadap referensi kecepatan pada gangguan <i>noise</i>          | 33 |
| 26 | Perubahan parameter Kp, Ki, dan Kd secara <i>online</i> selama proses uji gangguan noise | 34 |
| 27 | Perubahan waktu eksekusi                                                                 | 35 |



## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                     |    |
|---|---------------------|----|
| 1 | Kode RBF-PID matlab | 42 |
| 2 | Kode main.c         | 45 |
| 3 | Kode pi_ctrl.c      | 53 |
| 4 | Kode pi_ctrl.h      | 53 |
| 5 | Kode rbf_ctrl.c     | 53 |
| 6 | Kode rbf_ctrl.h     | 56 |

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 IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University  
— Bogor Indonesia —

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 IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University