

**KENDALI OPTIMAL KELAJUAN KAPAL FREGAT KRI AHMAD YANI
DENGAN *KALMAN FILTER LINEAR QUADRATIC TRACKING* (KF-LQT)**

SKRIPSI



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Disusun Oleh
RAHMANIA MAULIDYA
09020221039

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : RAHMANIA MAULIDYA

NIM : 09020221039

Program Studi : Matematika

Angkatan : 2021

Menyatakan bahwa Saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi Saya yang berjudul "KENDALI OPTIMAL KELAJUAN KAPAL FREGAT KRI AHMAD YANI DENGAN *KALMAN FILTER LINEAR QUADRATIC TRACKING* (KF-LQT)". Apabila suatu saat nanti terbukti Saya melakukan tindakan plagiat, maka Saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini Saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 26 Juni 2025

Yang menyatakan,



RAHMANIA MAULIDYA

NIM. 09020221039

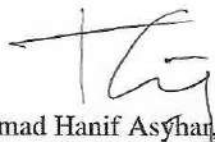
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

Nama : RAHMANIA MAULIDYA
NIM : 09020221039
Judul Skripsi : KENDALI OPTIMAL KELAJUAN KAPAL FREGAT
KRI AHMAD YANI DENGAN *KALMAN FILTER*
LINEAR QUADRATIC TRACKING (KF-LQT)

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Pembimbing I



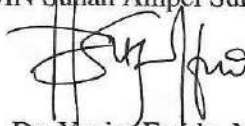
Ahmad Hanif Asyhar, M.Si.
NIP. 198601232014031001

Pembimbing II



Wika Dianita Utami, M.Sc.
NIP. 199206102018012003

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Yuniar Farida, M.T.
NIP. 197905272014032002

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

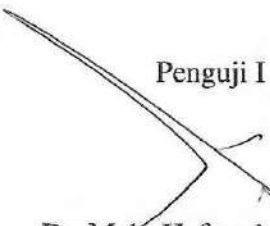
Skripsi oleh

Nama : RAHMANIA MAULIDYA
NIM : 09020221039
Judul Skripsi : KENDALI OPTIMAL KELAJUAN KAPAL FREGAT
KRI AHMAD YANI DENGAN *KALMAN FILTER*
LINEAR QUADRATIC TRACKING (KF-LQT)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 26 Juni 2025

Mengesahkan,
Tim Penguji

Penguji I


Dr. Moh. Hafiyusholeh, M.Si., M.PMat.
NIP. 198002042014031001

Penguji II


Dian Yuliati, M.Si.
NIP. 198707142020122015

Penguji III


Ahmad Hanif Asyhar, M.Si.
NIP. 198601232014031001

Penguji IV


Wika Dianita Utami, M.Sc.
NIP. 199206102018012003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya


Dr. A. Saepul Hamdani, M.Pd.
NIP. 196507312000031002



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : RAHMANIA MAULIDYA
NIM : 09020221039
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / MATEMATIKA
E-mail address : rahmania,maulidya4503@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Sekripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

KENDALI OPTIMAL KELAJUAN KAPAL FREGAT KRI AHMAD YANI
DENGAN KALMAN FILTER LINEAR QUADRATIC TRACKING (KF-LQT)

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 4 JULI 2025

Penulis

(RAHMANIA MAULIDYA)
nama terang dan tanda tangan

ABSTRAK

KENDALI OPTIMAL KELAJUAN KAPAL FREGAT KRI AHMAD YANI DENGAN *KALMAN FILTER LINEAR QUADRATIC TRACKING* (KF-LQT)

KRI Ahmad Yani merupakan kapal jenis fregat yang aktif terlibat dalam berbagai operasi militer. Kapal perang KRI Ahmad Yani memerlukan kemampuan manuver yang optimal untuk menjalankan misi-misi strategis, seperti menjaga keamanan perbatasan, pengawasan maritim, dan operasi tempur. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem kendali kapal militer yang lebih optimal, terutama untuk menjaga agar kapal tetap pada lintasan yang diinginkan dengan meminimalkan kesalahan pergerakan. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode Kalman Filter guna mengestimasi keadaan sistem pergerakan kapal. Estimasi dilakukan berdasarkan model matematika yang menggambarkan dinamika kapal pada dua derajat kebebasan, yaitu *sway* dan *yaw*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan mengevaluasi hasil simulasi dari penerapan metode *Linear Quadratic Tracking* (LQT). Metode LQT digunakan untuk merancang sistem kendali kapal yang optimal, serta menentukan input kendali yang diperlukan agar kapal dapat mempertahankan jalur yang telah ditentukan. Simulasi sistem kendali dilakukan untuk mengevaluasi performa kapal dalam mengikuti lintasan referensi berbentuk lingkaran, yang terdiri dari posisi x , posisi y , dan sudut orientasi ψ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kalman Filter mampu memberikan estimasi yang akurat pada variabel kecepatan *sway* dan kecepatan sudut (*yaw rate*), dengan nilai RMSE sebesar 0,0008 pada percepatan sudut, 0,0866 pada posisi sumbu- x , dan 0,0867 pada posisi sumbu- y . Sistem kendali LQT mampu mengarahkan kapal mengikuti lintasan referensi secara stabil dan terkendali, dengan nilai RMSE sebesar 9,0766 pada posisi- x dan pada posisi- y sebesar 7,9285. Meskipun terdapat penyimpangan dinamis yang wajar, secara keseluruhan sistem kendali mampu menjaga kapal tetap berada pada jalur pelayaran secara efektif dalam kondisi operasi yang kompleks.

Kata kunci: Kalman Filter, Kendali Optimal, KRI Ahmad Yani, *Linear Quadratic Tracking*.

ABSTRACT

OPTIMAL CONTROL OF FRIGATE SHIP SPEED KRI AHMAD YANI WITH KALMAN FILTER LINEAR QUADRATIC TRACKING (KF-LQT)

KRI Ahmad Yani is a frigate-type ship that is actively involved in various military operations. The KRI Ahmad Yani warship requires optimal maneuverability to carry out strategic missions, such as maintaining border security, maritime surveillance, and combat operations. Therefore, it is necessary to develop a more optimal military ship control system, especially to keep the ship on the desired course by minimizing movement errors. This study aims to apply the Kalman Filter method to estimate the state of the ship's movement system. The estimation is based on a mathematical model that describes the dynamics of the ship in two degrees of freedom, namely sway and yaw. In addition, this study also aims to evaluate the simulation results of the application of the Linear Quadratic Tracking (LQT) method. The LQT method is used to design an optimal ship control system and determine the control inputs required for the ship to maintain a predetermined course. Control system simulations are performed to evaluate the ship's performance in following a circular reference trajectory, consisting of position x , position y , and orientation angle ψ . The results of the study show that the Kalman Filter is capable of providing accurate estimates of the sway velocity and angular velocity (yaw rate) variables, with an RMSE value of 0.0008 for angular acceleration, 0.0866 for the position of the x -axis, and 0.0867 for the position of the y -axis. The LQT control system is capable of guiding the ship to follow the reference trajectory in a stable and controlled manner, with an RMSE value of 9.0766 for the x -position and 7.9285 for the y -position. Although there are reasonable dynamic deviations, overall the control system is capable of keeping the ship on course effectively under complex operating conditions.

Keywords: Kalman Filter, Optimal Control, KRI Ahmad Yani, Linear Quadratic Tracking.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	9
1.3. Tujuan Penelitian	10
1.4. Manfaat Penelitian	10
1.5. Batasan Masalah	11
1.6. Sistematika Penulisan	11
II TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1. Kapal Perang Fregat KRI Ahmad Yani	13
2.2. Model Matematika Kapal	15
2.2.1. Linearisasi Model	20
2.3. Lintasan Dubins	21
2.4. Kriteria Standar IMO	22
2.5. Keterkontrolan dan Keteramatan	24
2.6. Estimasi dengan Kalman Filter	26

2.7. Kontrol Optimal	31
2.7.1. <i>Linear Quadratic Tracking</i> (LQT)	31
2.8. <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	37
2.9. Integrasi Keilmuan	38
III METODE PENELITIAN	43
3.1. Jenis Penelitian	43
3.2. Jenis dan Sumber Data	43
3.3. Tahapan Penelitian	44
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1. Parameter Penelitian	48
4.2. Model Matematika Pergerakan Kapal	56
4.2.1. Model Matematika Dinamika Kapal	56
4.2.2. Model Matematika Kinematika Kapal	61
4.2.3. Persamaan Matematika Pergerakan Kapal Gabungan	62
4.2.4. Linearisasi Model	63
4.3. Analisis Keteramatan dan Kekontrolan	64
4.3.1. Analisis Keteramatan	64
4.3.2. Analisis Keterkontrolan	66
4.4. Estimasi dengan Kalman Filter	68
4.4.1. Diskritisasi Model	68
4.4.2. Hasil Estimasi dengan Kalman Filter	69
4.5. Kontrol Optimal <i>Linear Quadratic Tracking</i>	75
4.6. Diskusi	86
4.7. Integrasi Keilmuan	87
V PENUTUP	93
5.1. Kesimpulan	93
5.2. Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	96

DAFTAR TABEL

2.1	Spesifikasi kapal KRI Ahmad Yani	14
2.3	Tabel Unit Sistem Prime I	19
3.1	Sampel Data Lintasan	44
4.1	Parameter Kapal Fregat KRI Ahmad Yani	48
4.2	Hasil Tuning dan RMSE Kalman Filter	70
4.3	Hasil Tuning dan RMSE LQT	76



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

1.1	Enam Derajat Kebebasan Kapal	5
2.1	Kapal Perang KRI Ahmad Yani	14
2.2	Lintasan Dubins CLC dan CCC	22
2.3	Kriteria Standar IMO dalam Gerak Turning	23
2.4	Siklus Algoritma Kalman Filter	28
3.1	Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Penelitian	44
4.1	Estimasi Kecepatan Sway Kapal	71
4.2	Estimasi Kecepatan Sudut Kapal	71
4.3	Estimasi Percepatan Sudut Kapal	72
4.4	Estimasi Posisi X	73
4.5	Estimasi Posisi Y	74
4.6	Estimasi Pergerakan Kapal	75
4.7	Hasil Simulasi Kecepatan Sway Kapal	77
4.8	Hasil Simulasi Kecepatan Sudut Kapal	78
4.9	Hasil Simulasi Percepatan Sudut Kapal	79
4.10	Hasil Simulasi Posisi X	80
4.11	Hasil Simulasi Posisi Y	81
4.12	Sinyal Kontrol	82
4.13	Hasil Kontrol Pergerakan Kapal	83
4.14	Running Cost Kontrol Pergerakan Kapal	85

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, O. D. I. and Mardlijah, M. (2016). *Sistem Pengendali Manuver pada Kapal Perang dengan Metode Sliding Mode Control*. PhD thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Andria, L., Astrowulan, I. K., and Iskandar, E. (2014). Desain Linear Quadratic Tracking Untuk Pendaratan Vertikal Pada Pesawat Tanpa Awak Quadrotor. 3(1):62–67.
- Arianto, M. F. (2020). Potensi Wilayah Pesisir Di Negara Indonesia. *Jurnal Geografi*, (November).
- Arif, W. and Yanto, A. (2022). Konsep Makna Keamanan Maritim. *Jurnal Maritim Indonesia*, 10(3):277–234.
- Asfihani, T. (2019). *Panduan Dan Kendali Kapal Perang Menggunakan Pengembangan Model Predictive Control (MPC) Dengan Gangguan Gelombang*. PhD thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bintoro, D. R. (2024). KRI Ahmad Yani 351 Sambangi Pelabuhan Tanjung Intan Cilacap.
- Davidson, K. and Schiff, L. I. (1946). Turning and course keeping qualities of ships.
- de Winter, R. (2018). *Designing Ships using Constrained Multi-Objective Efficient Global Optimization*. PhD thesis.

- Du, Z., Negenborn, R. R., and Reppe, V. (2023). Review of Floating Object Manipulation by Autonomous Multi-Vessel Systems. *Annual Reviews in Control*, 55:255–278.
- Dubins, L. E. (1957). On Curves of Minimal Length with a Constraint on Average Curvature, and with Prescribed Initial and Terminal Positions and Tangents. *American Journal of Mathematics*, 79(3):497–516.
- Fossen, T. I. (1996). *Guidance and control of ocean vehicles*, volume 32.
- Fossen, T. I. (2011). *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*.
- Gozali, N. L., Aisjah, A. S., and Apriliani, E. (2013). Estimasi Variabel Dinamik Kapal Menggunakan Metode Kalman Filter. *Teknik POMITS*, 2(1).
- Handandi, Z. Z., Putra, R. A., Raihan, M. H., Trisna, A., and Widyaningrum, L. A. (2023). Enhancing The Performance of The PG45RS775 DC Motoe Through. *Jurnal Teknologi Maritim*, 6(1):11–16.
- Haroen, M. A. (2021). KRI Ahmad Yani (351).
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15(14):5481–5487.
- Hota, S. and Ghose, D. (2009). A Modified Dubins Method for Optimal Path Planning of a Miniature Air Vehicle Converging to a Straight Line Path. *Proceedings of the American Control Conference*, pages 2397–2402.
- Hutapea, R. F., Manik, P., and Budiarto, U. (2017). Analisa Pengaruh Penambahan Fin Pada Rudder Terhadap Kemampuan Manuvering Kapal Dengan

- Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (Studi Kasus Kriso Container Ship). *Teknik Perkapalan*, 5(1):163–172.
- Indomiliter (2012). KRI Ahmad Yani 351 : Kapal perang TNI AL.
- Kim, Y. and Bang, H. (2019). Introduction to Kalman Filter and Its Applications. *Introduction and Implementations of the Kalman Filter*, (November).
- Lewis, F. L. (1992). *Applied Optimal Control and Estimation*. Prentice Hall PTR.
- Li, Y., Landsburg, A. C., Barr, R. A., and Çaşal, S. M. (2009). Improving Ship Maneuverability Standards as a Means for Increasing Ship Controllability and Safety. *Proceedings of MTS/IEEE OCEANS*, pages 1–10.
- Li, Z. and Sun, J. (2012). Disturbance Compensating Model Predictive Control With Application to Ship Heading Control. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 20(1):257–265.
- Maliki, M. (2018). *Perancangan Instrumen Sistem Navigasi Dengan Kalman Filter Dan Algoritma Smoothing Savitzky-Golay*. PhD thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Manyam, S. G., Casbeer, D., Moll, A. V., and Fuchs, Z. (2019). Shortest dubins path to a circle. *AIAA Scitech 2019 Forum*, pages 1–7.
- Maulina, D. A. (2024). *Desain Kendali Fuzzy Optimal Control untuk Trajectory Tracking PADA 8-Copter*. PhD thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Militerium (2021). KRI Ahmad Yani (351).
- Mulyana, D. I. and Marjuki (2022). Optimasi Prediksi Harga Udang Vaname

- dengan Metode RMSE Dan MAE Dalam Algoritma Regresi Linier. *Jurnal Ilmiah Betrik*, 13(1):50–58.
- Mustofa, M. A., Tiyo, A., and Nugroho, A. S. (2025). Prediksi Luas Panen di Kecamatan Purwodadi Menggunakan Algoritma Regresi Linear Berganda. *Jurnal Ilmu Komputer An Nuur*, 5(01):32–41.
- Nadzilah, A., Gandana, D. M., Muliadi, J., and Daryanto, Y. (2017). Application of kalman filter to track ship maneuver. In *2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, pages 1–5. IEEE.
- Nahampun, R. J. (2022). *Evaluasi Kegiatan Bunker KRI Ahmad Yani di Sermaga Koarmada II oleh PT. Pertamina Trans Kontinental Surabaya*. PhD thesis, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
- Naidu, D. S. (2000). *Optimal Control Systems*, volume 124.
- Prasetyo, M. R. (2018). *Perancangan Kendali Optimal LQT untuk Pengendalian dan Pemanduan pada Rudal*. PhD thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Putri, D. K. R., Subchan, and Asfihani, T. (2018). Steering Angle Control of Car for Dubins Path-tracking Using Model Predictive Control. *Journal of Physics: Conference Series*, 974(1).
- Putro, H. S. and Sumiyati (2022). Peran TNI AL dalam Pertahanan, Keamanan, Penegak Hukum dan Keselamatan Di Laut Guna Mendukung Perpindahan Ibu Kota Negara Dalam Rangka Mewujudkan Poros Maritim Dunia. *Jurnal Maritim Indonesia*, 10(1):118–131.
- Rewinda (2018). *Perancangan Linear Quadratic Tracking Untuk Kendali Haluan Kapal*. PhD thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Riyanto, B. A. (2017). *Kendali Sudut pada Gerak Kapal untuk Pelacakan Lintasan Dubins Menggunakan Metode Distrubance Compensating Model Predictive Control (DC-MPC)*. PhD thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sholehurrohman, R., Habibi, M. R., Ilman, I. S., Taufiq, R., and Muhaqiqin, M. (2023). Analisis Metode Kalman Filter, Particle Filter dan Correlation Filter Untuk Pelacakan Objek. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, 12(2):21–28.
- Subiono (2013). *Sistem Linear dan Kontrol Optimal*. 2.1.1 edition.
- Sulisetyono, A. (2014). Development of a ‘Fish Tail’ Rudder to Improve a Ship’s Maneuverability in Seaway. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 1(1):1–7.
- Yoon, H. K., Son, N. S., and Lee, G. J. (2007). Estimation of the roll hydrodynamic moment model of a ship by using the system identification method and the free running model test. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 32(4):798–806.
- Yunita, M. (2020). *Simulasi Dan Implementasi Tracking Target Bermanuver Menggunakan Algoritma Imm- Kalman Filter*. PhD thesis, Institut Teknologi Bandung.