

**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING* PERFORMA
BALL SCREW BERBASIS LSTM-AUTOENCODER**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Rafza Ray Firdaus

220441043



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:
Rancang Bangun Sistem *Monitoring Performa Ball screw* berbasis LSTM-
Autoencoder

Oleh:
Rafza Ray Firdaus
220441043

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 23 Desember 2024

Disetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Aris Budiarto, S.T., M.T.
NIP. 197012301995121001



A. Rohman Harits M., S.Si., M.T.
NIP. 198803132019031009

Disahkan,

Penguji I,

Penguji II,

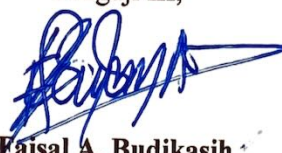
Penguji III,



Dr. Susetvo Bagas
Bhaskoro, S.ST., M.T.
NIP. 198706222015041002



Danu Jaya Saputro, S.T.,
M.Sc.
NRP. 224401001



Faisal A. Budikasih
S.Tr.T., M.Sc.Eng
NRP. 223411001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rafza Ray Firdaus
NIM : 220441043
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun Sistem Monitoring Performa
Ball screw berbasis LSTM-Autoencoder

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 23 – 12 – 2024
Yang Menyatakan,

Rafza Ray Firdaus
NIM 220441043

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rafza Ray Firdaus
NIM : 220441043
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun Sistem Monitoring Performa
Ball screw berbasis LSTM-Autoencoder

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 23 – 12 – 2024
Yang Menyatakan,

Rafza Ray Firdaus
NIM 220441043

MOTO PRIBADI

"Semper Fidelis et Audax, Usque ad Finem"
Selalu Setia dan Berani, Tabah Hingga Akhir

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Rancang Bangun Sistem *Monitoring Performa Ball screw* berbasis LSTM-Autoencoder”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.AB.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Ibu Nuryanti, S.T., M.Sc.
4. Para Pembimbing tugas akhir Bapak Dr. Aris Budiarto, S.T., M.T. dan Bapak A. Rohman Harits M., S.Si., M.T.

5. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak Dr. Susetyo Bagas Bhaskoro, S.ST., M.T., Bapak Danu Jaya Saputro, S.T., M.Sc. dan Bapak Faisal A. Budikasih S.Tr.T., M.Sc.Eng.
6. Panitia Tugas Akhir Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Dewi Yanti (Ibu) dan Rudi Mustaqin (Bapak) yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Rekan-rekan dan kolega yang banyak membantu yang penulis tidak bisa sebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, Desember 2024

Penulis

ABSTRAK

Ball screw adalah komponen penting dalam sistem mesin presisi seperti CNC, yang kegagalannya dapat mengakibatkan peningkatan getaran, penurunan akurasi, dan kerusakan serius. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring performa *ball screw* berbasis algoritma *long short term memory-autoencoder* (LSTM-Autoencoder), yang berfungsi mendeteksi anomali sebagai indikator awal degradasi atau potensi kerusakan. Data operasional normal dikumpulkan dari pengujian *ball screw* dalam kondisi operasi standar dengan variasi beban, kemudian dinormalisasi dalam rentang [0, 1] untuk pelatihan model. Model LSTM-Autoencoder, berbasis pendekatan *unsupervised learning*, berhasil mempelajari pola data normal dengan baik tanpa *overfitting*, sebagaimana ditunjukkan oleh *training loss* 0.0550 dan *validation loss* 0.0537. Deteksi anomali dilakukan berdasarkan *reconstruction error* yang melampaui ambang batas persentil ke-95. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan distribusi *error* yang signifikan antara data normal dan inferensi, yang mendukung kemampuan model dalam membedakan pola normal dan anomali. Sistem ini juga dilengkapi dengan *dashboard* visualisasi *real-time* untuk memudahkan identifikasi dini terhadap gangguan dan mengurangi risiko *downtime*. Dengan kemampuan mendeteksi anomali secara otomatis, penelitian ini menjadi langkah awal dalam pengembangan sistem pemeliharaan prediktif berbasis data untuk *ball screw*, serta membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut.

Kata kunci: *Ball Screw*, LSTM-Autoencoder, *Monitoring*, Pemeliharaan Prediktif

ABSTRACT

The ball screw is a critical component in precision machinery systems such as CNC machines, where its failure can lead to increased vibration, reduced accuracy, and severe damage. This study aims to design a performance monitoring system for ball screws using the long short term memory-autoencoder (LSTM-Autoencoder) algorithm to detect anomalies as early indicators of degradation or potential damage. Operational normal data were collected from ball screw testing under standard operating conditions with varying loads, then normalized within the range [0, 1] for model training. The LSTM-Autoencoder model, based on an unsupervised learning approach, successfully learned normal data patterns without overfitting, as demonstrated by a training loss of 0.0550 and a validation loss of 0.0537. Anomaly detection was performed using reconstruction errors exceeding the 95th percentile threshold. The test results revealed significant differences in error distribution between normal and inference data, validating the model's ability to distinguish normal patterns from anomalies. The system also features a real-time visualization dashboard, facilitating early identification of disruptions and reducing the risk of downtime. By enabling automated anomaly detection, this study provides a foundational step toward developing data-driven predictive maintenance systems for ball screws, while offering opportunities for further advancements.

Keywords: Ball Screw, LSTM-Autoencoder, Monitoring, Predictive Maintenance

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-2
I.3 Batasan Masalah.....	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat.....	I-3
I.5 Sistematika Penulisan.....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori	II-1
II.1.1 Ball screw.....	II-1
II.1.2 Deteksi Anomali berbasis Data.....	II-2
II.1.3 LSTM	II-3
II.1.4 Autoencoder	II-4
II.1.5 LSTM-Autoencoder dalam Deteksi Anomali	II-6
II.2 Tinjauan Alat.....	II-6
II.2.1 ESP32.....	II-6
II.2.2 Modul RS485 MAX485.....	II-8
II.2.3 Sensor Akselerometer Renatta RS-WZ3-N01-1	II-9

II.2.4	Sensor Akselerometer Vemsee SN-3001-WZ1-N01-CX	II-10
II.3	Studi Penelitian Terdahulu	II-12
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH		III-17
III.1	Metode Penelitian	III-17
III.1.1	Metode Pengembangan.....	III-18
III.1.2	Metode Eksperimen	III-19
III.2	Analisis Kebutuhan.....	III-23
III.3	Perancangan Sistem Mekanik (Testbed).....	III-24
III.4	Rancangan Elektrik.....	III-26
III.5	Perancangan Informatik.....	III-27
III.5.1	Perancangan Akusisi Data	III-27
III.5.2	Perancangan NodeRED	III-30
III.5.3	Perancangan Tampilan Dasbor	III-30
III.5.4	Perancangan Basis Data.....	III-31
III.5.5	Perancangan Sistem Deteksi Anomali	III-32
III.5.5.1	Pra-pemrosesan Data.....	III-33
III.5.5.2	Penambahan Fitur (<i>Feature Engineering</i>)	III-33
III.5.5.3	Pelatihan Model	III-34
III.5.6	Evaluasi Model	III-36
III.6	Integrasi Sistem.....	III-37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-1
IV.1	Implementasi Perancangan Sistem	IV-1
IV.1.1	Implementasi Perangkat Keras.....	IV-1
IV.1.2	Implementasi Perangkat Lunak.....	IV-1
IV.2	Pengujian Alat.....	IV-3
IV.2.1	Pengaturan Sensor	IV-3
IV.2.2	Hasil dan Evaluasi Model Prediktif	IV-5
IV.2.2.1	Skenario 1	IV-7
IV.2.2.2	Skenario 2	IV-9
IV.2.2.3	Skenario 3	IV-12
IV.2.2.4	Perbandingan Ketiga Skenario	IV-14
IV.2.3	Pengujian Kualitas Transmisi Data.....	IV-15
BAB V PENUTUP		V-1
V.1	Kesimpulan.....	V-1

V.2	Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA.....		xv
LAMPIRAN.....		xvii

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Karakteristik Masing-masing Arsitektur [6]	II-4
Tabel II.2 Spesifikasi Renatta RS-WZ3-N01-1 [22].....	II-9
Tabel II.3 Spesifikasi Vemsee SN-3001-WZ1-N01-CX [23].....	II-11
Tabel II.4 Penelitian Terdahulu.....	II-12
Tabel III.1 Standar Throughput.....	III-20
Tabel III.2 Standar Packet Loss	III-21
Tabel III.3 Standar Delay	III-21
Tabel III.4 Standar Jitter	III-22
Tabel III.5 Standar Persentase Nilai QoS	III-22
Tabel III.6 Tabel Analisis Kebutuhan.....	III-23
Tabel III.7 Spesifikasi Teknis Testbed.....	III-25
Tabel III.8 Penjelasan Komponen Visualisasi	III-31
Tabel III.9 Konfigurasi Pelatihan Model LSTM-Autoencoder.....	III-35
Tabel IV.1 Penjelasan tiap fitur pada Grafana	IV-3
Tabel IV.2 Tabel Penyesuaian Sensor	IV-4
Tabel IV.3 Hasil Pengujian Parameter QoS.....	IV-15

DAFTAR GAMBAR

Gambar II-1 Sistem <i>ball screw driver</i> [14]	II-1
Gambar II-3 Metode Teknik Deep Learning untuk Deteksi Anomali pada perbaikan prediktif [6].....	II-2
Gambar II-4 Peta Jalan Pengembangan sistem Pemeliharaan Prediktif [6].....	II-2
Gambar II-5 Cara Kerja Unit LSTM [18]	II-3
IV. Gambar II-6 Cara Kerja Autoencoder [18]	II-4
Gambar II-7 Mekanisme LSTM-Autoencoder [18].....	II-6
Gambar II-8 ESP32-DevKitC V4 dengan modul ESP32-WROOM-32 tersolder [21]	II-7
Gambar II-9 Modul MAX485	II-8
Gambar II-10 MAX481/MAX483/MAX485/MAX487/MAX1487 Pin Configuration and Typical Operating Circuit	II-8
Gambar II-11 Tampilan Fisik Renatta RS-WZ3-N01-1	II-9
Gambar II-12 Tampilan Sensor SN-3001-WZ1-N01-CX.....	II-10
Gambar II-13 Alur penelitian terdahulu.....	II-15
Gambar III-1 Diagram Alir Penelitian	III-17
Gambar III-2 Desain Testbed Tampak Isometrik	III-24
Gambar III-3 Tampak Samping Tesbed.....	III-25
Gambar III-4 Tampak Atas Testbed	III-25
Gambar III-5 Rancangan Perangkat Keras Akusisi Data.....	III-26
Gambar III-6 Diagram Alir Proses Akuisisi Data pada ESP32	III-29
Gambar III-7 Rancangan Dasbor untuk Grafana	III-30
Gambar III-8 Metodologi Pelatihan model LSTM-AE dan mencari nilai ambang batas (<i>threshold</i>) [25]	III-32
Gambar III-9 Metodologi deployment dan testing untuk Deteksi Anomali [25].	III-33
Gambar III-10 Diagram Arsitektur Sistem	III-37
Gambar IV-1 Implementasi Sistem Akuisisi Data pada Testbed.....	IV-1
Gambar IV-2 Pemantauan Sinyal Getaran	IV-2
Gambar IV-3 Pemantauan Deteksi Anomali.....	IV-2
Gambar IV-4 Arsitektur yang diimplementasikan	IV-5

Gambar IV-5 Data pelatihan dari akuisisi data	IV-6
Gambar IV-6 Loss Data Pelatihan dan Validasi dengan arsitektur model LSTM-AE	IV-6
Gambar IV-7 Distribusi rekonstruksi galat pada data normal	IV-7
Gambar IV-8 Data mentah hasil akuisisi data 2024-12-12 Pukul 18:28:39	IV-7
Gambar IV-9 Error Rekonstruksi untuk inferensi hasil pada data 2024-12-10 16:40:53	IV-8
Gambar IV-10 Distribusi rekonstruksi galat pada data 2024-12-10 16:40:53...	IV-8
Gambar IV-11 Perbandingan Distribusi Rekonstruksi Galat pada Data Normal dan Data 2024-12-10 16:40:53	IV-9
Gambar IV-12 Data mentah hasil akuisisi data 2024-12-12 Pukul 19:53:44 ..	IV-10
Gambar IV-13 Error Rekonstruksi untuk inferensi hasil pada data 2024-12-12 19:53:44	IV-10
Gambar IV-14 Distribusi <i>Reconstruction error</i> pada data 2024-12-12 19:53:44	IV-11
Gambar IV-15 Perbandingan Distribusi Rekonstruksi Galat pada Data Normal dan Data 2024-12-12 19:53:44	IV-11
Gambar IV-16 Data mentah hasil akuisisi data 2024-12-12 Pukul 20:34:43 ..	IV-12
Gambar IV-17 Error Rekonstruksi untuk inferensi hasil pada data 2024-12-12 20:34:43	IV-12
Gambar IV-18 <i>Reconstruction error</i> pada data 2024-12-12 20:34:43.....	IV-13
Gambar IV-19 Perbandingan Distribusi Rekonstruksi Galat pada Data Normal dan Data 2024-12-12 20:34:43	IV-14
Gambar IV-20 Perbandingan Ketiga Inferensi terhadap Distribusi Data Pelatihan	IV-14
Gambar IV-21 Perbandingan ketiga metrik	IV-16
Gambar IV-22 Perbandingan Packet Loss terhadap Durasi.....	IV-16

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skematik dan Sistem PCB Menggunakan ESP32

Lampiran 2. Datasheet Ball screw Bertipe SFU

Lampiran 3a. Implementasi Perangkat Keras

Lampiran 3b. Implementasi Perangkat lunak

Lampiran 4. Dokumentasi Kode

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Daftar Simbol	
SIMBOL	DESKRIPSI
μ	Rata-rata nilai data dalam suatu rentang waktu
σ	Simpangan baku, menunjukkan sebaran data dari nilai rata-rata
R	Residual, selisih antara nilai terakhir dengan rata-rata data
S	Kemiringan distribusi data (<i>Skewness</i>)
K	Kurtosis distribusi data
Daftar Singkatan	
SINGKATAN	DESKRIPSI
Bi-LSTM	Bi-Directional Long Short-Term Memory: Jenis LSTM yang dapat memproses data sekuensial dalam dua arah.
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i> : Teknologi komunikasi nirkabel hemat daya untuk transfer data dalam jarak dekat.
FreeRTOS	Sistem operasi <i>real-time</i> untuk mikrokontroler, digunakan untuk pengelolaan tugas sistem tersemat.
LSTM	Long Short-Term Memory: Jaringan saraf berulang untuk menangkap hubungan temporal dalam data.
LSTM-Autoencoder	Model kombinasi LSTM dan Autoencoder untuk mendeteksi anomali melalui <i>reconstruction error</i> .
Reconstruction Error	Perbedaan antara data asli dan hasil rekonstruksi sebagai indikator deteksi anomali.
CNC	<i>Computer Numerical Controller</i> : Mesin pengendali numerik untuk otomasi manufaktur.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Ball screw merupakan komponen mekanis yang krusial yang digunakan dalam mesin *Computer Numerical Control* (CNC) dengan kebutuhan kepresisian tinggi dan keandalan yang baik [1]. *Ball screw* digunakan untuk mengubah gerak rotasi ke gerak linier [2]. Dalam sistem manufaktur dengan kepresisian tinggi, degradasi *ball screw* bisa berakibat pada akurasi dan kemampuan reproduksi keseluruhan sistem, dengan hampir 19% kerusakan mesin berkaitan dengan degradasi dari *ball screw* [2], [3]. Performa yang terdegradasi dari sistem mengakibatkan getaran yang meningkat pada mesin, sehingga mengakibatkan akurasi permesinan dan kualitas dari benda kerja yang menurun [4]. Jika suatu pembelian dari konsumen muncul setelah terjadinya kegagalan, kerugian produksi yang disebabkan oleh penghentian mesin akan menjadi lebih serius, akan memengaruhi daya saing produk di pasaran [4]. Meskipun demikian, pemeliharaan tetap menjadi tantangan bagi perusahaan manufaktur, walaupun hal ini merupakan aspek penting untuk menghindari kehilangan produktivitas dan mengurangi *downtime* tak terencana[5].

Oleh karenanya, pengembangan suatu sistem yang dapat mendeteksi degradasi *ball screw* pada tahap awal menjadi penting [2]. Dalam mengembangkan suatu sistem pemantauan degradasi, strategi pemeliharaan prediktif berbasis data bisa dikategorikan menjadi [6]: (1) deteksi anomali, (2) diagnosis kegagalan, (3) degradasi prognosis, dan (4) mitigasi. Deteksi anomali bertujuan untuk mengidentifikasi apakah suatu aset berfungsi dengan baik dalam kondisi normal, yang merupakan langkah awal dalam mengembangkan sistem pemeliharaan prediktif yang dikembangkan secara bertahap [6], [7], [8]. Kim dkk. membuat kerangka kerja berbasis autoencoder dan regresi linier yang dapat digunakan untuk pemeliharaan prediktif tanpa memerlukan data historis kegagalan, dengan proses akuisisi dan pra-pemrosesan data sensor mentah untuk dikembangkan ke dalam suatu autoencoder neural network sebagai data pelatihan [9]. Hasil penelitian, Zheng dkk. [10] menunjukkan algoritma pemeliharaan prediktif berdasarkan bi-directional long short term memory (Bi-LSTM) dan attention

mechanism mampu meningkatkan keandalan dan akurasi dari suatu sistem prediksi tren kegagalan mesin. Penelitian Ali dkk. [11] mengembangkan sistem pemeliharaan prediktif berbasis *deep learning* untuk mesin rotasi industri menggunakan LSTM-Autoencoder yang dapat mengidentifikasi pola anomali dan memperkirakan sisa umur berguna (RUL) tanpa memerlukan data historis yang diberi label, selain itu data operasional mesin ditampilkan dan dikirim melalui jaringan *Bluetooth Low Energy* (BLE).

Pada proyek penelitian tugas akhir ini, dilakukan pengembangan pendeteksian anomali pada *ball screw* dengan menggunakan algoritma LSTM-Autoencoder. Pemilihan LSTM-Autoencoder didasarkan pada kemampuannya dalam menangani data berdimensi tinggi dan kompleksitas fitur yang signifikan, sebagaimana yang diterapkan oleh Zhou dkk. [12] dalam mengatasi data besar yang tidak seimbang di aplikasi industri cerdas. Selain itu, LSTM-Autoencoder mampu mengekstraksi fitur penting dari data mentah dan mengurangi dimensi tanpa kehilangan informasi penting, serupa dengan pendekatan yang digunakan oleh Trinh dkk. [13], yang menggabungkan LSTM dengan Autoencoder dan Isolation Forest untuk deteksi anomali berbasis kesalahan rekonstruksi (*reconstruction error*). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *monitoring* yang mampu mendeteksi anomali pada getaran *ball screw*, sebagai indikator awal dari degradasi atau potensi kerusakan komponen. Sistem ini dirancang untuk memantau kondisi operasional *ball screw* secara *real-time*, sehingga memungkinkan dilakukannya tindakan preventif guna mencegah kerusakan lebih lanjut sebelum terjadi kegagalan fungsi.

I.2 Rumusan Masalah

Guna menyelesaikan permasalahan tersebut. Berikut rumusan masalah yang diajukan:

1. Bagaimana cara mendapatkan data kondisi normal yang akan dilatih dari pengujian getaran *ball screw*?
2. Bagaimana cara menerapkan metode LSTM-Autoencoder dalam analisis getaran untuk mendeteksi anomali pada sistem *ball screw*?

3. Sejauh mana sistem pemantauan ini berhasil dalam menyajikan data dan memberikan informasi visual untuk pemeliharaan *ball screw*?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem akuisisi data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan ESP32 sebagai unit pemrosesannya.
2. Penelitian ini hanya fokus pada sistem pendeteksian anomali getaran dengan memanfaatkan data getaran yang diperoleh dari *testbed linear* motor satu sumbu, dengan pengukuran getaran normal yang diekstrapolasi untuk analisis lebih lanjut.
3. Penelitian ini hanya membahas algoritma LSTM-Autoencoder berbasis *unsupervised learning* sebagai algoritma pendeteksi anomali getaran.
4. Penelitian ini hanya mendeteksi anomali umum, tanpa menunjukkan jenis kerusakan spesifik yang mengakibatkan anomali getaran.
5. Anomali yang dimaksud pada penelitian ini adalah getaran yang melebihi ambang batas (*threshold*) yang ditetapkan pada algoritma LSTM-Autoencoder.
6. Dimensi Testbed yang dipakai adalah 300 mm, dengan jarak pergerakan sebesar 140 mm.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari pembuatan Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Performa Getaran *Ball screw* berbasis LSTM-Autoencoder adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui keberhasilan algoritma pendeteksi anomali pada *ball screw* jika menggunakan algoritma LSTM-Autoencoder.
2. Mengetahui keberhasilan sistem *monitoring* getaran pada *ball screw*.

Manfaat Penelitian:

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai penelitian pendahuluan untuk pengembangan deteksi anomali menjadi deteksi kerusakan (*fault*) pada komponen *ball screw*.

2. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi terkait kondisi *ball screw* terkini berdasarkan *sistem monitoring*.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut:

- BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.
- BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.
- BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi hasil dari percobaan pada alat TA berikut dengan pembahasannya.
- BAB V KESIMPULAN DAN SARAN, berisi kesimpulan dari keseluruhan tulisan tugas akhir dan saran untuk tugas akhir berikutnya.