

ANALISIS KESTABILAN SISTEM DINAMIK

LINEAR TIME INVARIANT (LTI)

Skripsi

Untuk memenuhi sebagai prasyarat

Mencapai derajat Sarjana S-1



diajukan oleh:

MAULIDA AGUSTIN

14610008

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2018



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Maulida Agustin

NIM : 14610008

Judul Skripsi : Analisis Kestabilan Sistem Dinamik *Linear Time Invariant* (LTI)

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang matematika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 26 April 2018

Pembimbing

Dr. Muhammad Wakhid Mushtofa, M.Si

NIP. 19800402 200501 1 003

SURAT PENYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang beranda tangan dibawah ini

Nama : Maulida Agustin

NIM : 14610008

Prodi / Smt : Matematika / VIII

Fakultas : Sains dan Teknologi

dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau ditebitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 25 April 2018



Maulida Agustin

14610008



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor : B- 96/Un.02/DST/PP.05.3/05/2018

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Analisis Kestabilan Sistem Dinamik *Linear Time Invariant* (LTI)

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

Nama : Maulida Agustin

NIM : 14610008

Telah dimunaqasyahkan pada : 4 Mei 2018

Nilai Munaqasyah : A

Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Dr. Muhammad Wakhid Musthofa, M.Si
NIP. 19800402 200501 1 003

Penguji I

Malahayati, M.Sc
NIP.19840412 201101 2 010

Penguji II

M. Zaki Riyanto, M.Sc
NIP.19840113 201503 1 001

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 21 Mei 2018
UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi
Dekan



Dr. Murtono, M.Si
NIP. 19691212 200003 1 001

MOTTO

"Waktu bagaikan pedang. Jika engkau tidak memanfaatkannya dengan baik (untuk memotong), maka ia akan memanfaatkanmu (dipotong)." (HR. Muslim)

*Tidak peduli dari mana dirimu berasal.
Tidak peduli siapa kau sebelumnya.
Yang terpenting adalah siapa kau hari ini.*



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

*Karya sederhana ini ku persembahkan
untuk almarhum ayah tercinta **Agus Dwi Cahyana**
dan ibunda tercinta **ST. Kamariya***

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis diberikan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi dengan judul “*Analisis Kestabilan Sistem Linear Time Invariant*” guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Satu dalam bidang matematika Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Shalawat serta salam tak lupa penulis curahkan kepada baginda nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari alam kegelapan ke alam yang terang benderang ini, yakni Islam.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini penulis memperoleh bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, saran, serta dorongan baik secara moral maupun material dari awal sampai akhir penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Bapak M. Wakhid Musthafa selaku Ketua Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta sekaligus dosen pembimbing I yang senantiasa sabar dalam memberikan pengarahan, bimbingan serta motivasi selama penulisan

skripsi ini. Semoga ilmu yang telah diberikan kepada penulis senantiasa akan memberikan kemudahan dalam setiap langkah beliau.

3. Ibu Malahayati selaku Dosen Pembimbing Akademik yang tak pernah lelah dan bosan untuk memberikan bimbingan dan motivasi selama kuliah.
4. Seluruh dosen dan karyawan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan penulis ilmu dan pengalaman untuk bekal di masa yang akan datang.
5. Almarhum Ayah tercinta **Agus Dwi Cahyana** yang selama masa hidupnya telah menjadi sahabat terbaik, tempat mengadu terkeren dan terkece setelah Allah SWT, dan telah mengorbankan segala hal demi membahagiakan penulis, serta telah memberikan pelajaran yang sangat berharga tentang arti kehidupan yang sebenarnya.
6. Ibunda tercinta **ST. Kamariya** yang tak pernah lelah dan selalu bersabar dalam mendidik, membimbing dan mengajarkan penulis banyak hal dari yang semulanya tak tahu apa-apa sampai bisa tahu dan mengerti banyak hal. Serta doa yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis.
7. Mas dan mbak tercinta Imam Agus Faishal dan Mariatul Agustina yang menyayangi penulis serta selalu memberikan semangat penulis untuk tetap maju.

8. Keluarga Matematika angkatan 2014 khususnya *tim Rumpi* (Milla, Rika, Sri, Yayuk, Anita, Dihan, Alifah, Wanda dan Ani) yang selalu setia menemani penulis dalam suka maupun duka selama berada di tanah rantau.
9. Keluarga besar HM-PS Matematika dan IKAHIMATIKA Indonesia khususnya Wilayah IV yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman indah yang insyaAllah berguna dihari kelak.
10. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung sehingga tugas akhir skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan. Akhir kata semoga Allah SWT. membalas segala langkah kebaikan yang telah kita lakukan dan menjadi amal ibadah kita.

Yogyakarta, 26 April 2018

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Maulida Agustin

14610008

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMBANG	xvi
INTISARI	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Kajian Pustaka	7

1.7	Sistematika Penulisan	11
1.8	Metode Penelitian	12
BAB II LANDASAN TEORI		15
2.1	Matriks	15
2.1.1	Operasi Matriks	16
2.1.2	Transpose Matriks	19
2.1.3	Matriks Identitas	20
2.1.4	Determinan Matriks	20
2.1.5	Minor dan Kofaktor	21
2.1.6	Invers Matriks	22
2.1.7	Aturan Cramer	23
2.2	Vektor	25
2.3	Ruang dan Subruang Vektor	26
2.4	Basis dan Dimensi	29
2.5	Rank Matriks	30
2.6	Kernel Matriks	31
2.7	Hasil Kali Dalam	32
2.8	Norm	32
2.3.1	Norm Vektor	32
2.3.1	Norm Matriks	35
2.9	Nilai Eigen dan Vektor Eigen	37

2.10	Bilangan Kompleks.....	39
2.11	Bentuk Kuadratis	40
2.12	Kriteria Sylvester	41
2.13	Persamaan Diferensial	44
2.8.1	Persamaan Diferensial Biasa	44
2.8.2	Persamaan Diferensial Parsial	45
2.14	Titik Ekuilibrium	46
2.15	Limit.....	47
2.16	Integral Tak Wajar	48
2.17	Subruang Invariant.....	49
2.18	Teori Sistem.....	50
2.19	Solusi Sistem.....	51
2.20	Linearisasi	52
2.21	Keteramatan	55
BAB III ANALISIS KESTABILAN SISTEM <i>LINEAR TIME</i>		
	<i>INVARIANT</i>	57
3.1	Metode Nilai Eigen	57
3.2	Metode Routh-Hurwitz	71
3.2.1	Uji Routh	72
3.2.2	Uji Hurwitz	87
3.3	Metode Lyapunov	91

3.4	Metode Linierisasi	104
3.5	Metode Input/Output.....	113
BAB IV SIMULASI		118
4.1	Titik Ekuilibrium Gerak Longitudinal Pesawat Terbang BWB AC 20.30.....	118
4.2	Persamaan <i>State Space</i> Gerak Longitudinal Pesawat Terbang BWB AC 20.30	122
4.3	Analisis Kestabilan Gerak Longitudinal Pesawat Terbang BWB AC 20.30.....	126
4.3.1	Metode Nilai Eigen.....	126
4.3.2	Metode Routh Hurwitz	127
4.3.2.1	Uji Routh.....	128
4.3.2.2	Uji Hurwitz	129
4.3.3	Metode Lyapunov	130
4.3.4	Metode Linearisasi.....	136
4.3.5	Metode Input/Output.....	137
4.4	Simulasi Kestabilan Sistem Gerak Longitudinal BWB AC 20.30 Menggunakan MATLAB R2013a	138
BAB V PENUTUP		143
5.1	Kesimpulan	143
5.2	Saran	146
DAFTAR PUSTAKA		147
LAMPIRAN-LAMPIRAN		149
RIWAYAT HIDUP		155

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Bagan alur Metodologi Penelitian	14
Gambar 2.1 Vektor AB.....	25
Gambar 2.2 Fungsi satu peubah f yang mempuntai limit L di $x=a$	47
Gambar 3.1 Ilustrasi tipe kestabilan titik ekuilibrium	58
Gambar 3.2 Stabil dan Stabil Asimtotik.....	105
Gambar 3.3 Pendulum	111
Gambar 4.1 Arah sumbu badan pesawat BWB AC 20.30	118
Gambar 4.2 Output saat kondisi awal sama dengan nol.....	139
Gambar 4.3 Output <i>short periode mode</i> saat kondisi awal gerak translasi $w = 5$ dan $t = 0 - 300$ detik.....	140
Gambar 4.4 Output <i>short periode mode</i> saat kondisi awal gerak translasi $w = 28$ dan $t = 0 - 300$ detik	141
Gambar 4.5 <i>Phugoid mode</i> saat kondisi awal sudut ketinggian $\theta = 5$ dan $t = 0 - 300$ detik.....	142

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Tinjauan Pustaka	9
Tabel 4.1 Arah sumbu badan.....	119
Tabel 4.2 Nilai Parameter Aerodinamika Matriks A	124
Tabel 4.3 Nilai Parameter Aerodinamika Matriks B	125
Tabel 5.1 Karakteristik Kestabilan.....	145



DAFTAR LAMBANG

$A_{m \times n}$	: Matriks berukuran $m \times n$
a_{ij}	: Elemen matriks baris ke i kolom ke j
$\det(A)$	: Deterimanan matriks A
λ	: Nilai eigen
$\text{Re}(\lambda)$	: Bagian real dari nilai eigen
$\dot{x}$ atau $\frac{d}{dt}x$	: Turunan dari fungsi x terhadap waktu t
$P(\xi)$	: Persamaan Polinomial
$\mathbb{R}[\xi]$	: Himpunan polinomial dengan koefisien berupa bilangan real
$\deg(P(\xi))$	: <i>Degree</i> atau derajat dari persamaan polynomial $P(\xi)$
Δ_n	: Minor pokok/utama ke n
∇	: Gradien vektor
x_0	: Keadaan awal
$\tilde{x}$	: Titik ekuilibrium x
x^T	: Transpose dari matriks x
$\ker$	: Kernel dari pemetaan linear
ΔP	: Selisih $(P_1 - P_2)$
$\sum$	: Ruang <i>State Space</i>
θ	: Sudut ketinggian
$\Delta\delta_E$	: Defleksi pada <i>elevons</i>
$\Delta\delta_{FWing}$	: Defleksi <i>flap</i> sayap
$\Delta\delta_{FRearEnd}$	: Defleksi <i>flap rear end</i>
p, q, r	: Kontrol gerak rotasi
u, v, w	: Kontrol gerak translasi

INTISARI

ANALISIS KESTABILAN SISTEM DINAMIK

LINEAR TIME INVARIANT (LTI)

Oleh

Maulida Agustin

14610008

Stabilitas adalah isu yang sangat umum di bidang matematika terapan. Sebagai contoh, prediksi ketidakstabilan dari model matematis dalam banyak hal menyebabkan adanya konfirmasi bahwa model tersebut secara memadai mewakili proses fisik yang tidak sesuai. Ketidakstabilan suatu sistem merupakan keadaan yang tidak menguntungkan bagi sistem tersebut. Kestabilan sistem dinamik *Linear Time Invariant* dapat dianalisa dengan beberapa metode. Metode pertama yaitu metode nilai eigen, dimana metode ini menggunakan nilai eigen untuk mengetahui sistem tersebut stabil atau tidak. Metode kedua yaitu metode Routh–Hurwitz, metode ini dibagi menjadi dua uji yaitu Uji Routh (akan menunjukkan adanya akar-akar yang tidak stabil beserta jumlahnya tetapi tidak menentukan nilai atau kemungkinan cara untuk mencegah ketidakstabilan) dan Uji Hurwitz (pemeriksaan apakah semua akar-akar persamaan karakteristik memiliki bagian nyata yang negatif. Hal ini ditentukan dengan cara menggunakan determinan). Metode ketiga yaitu Kestabilan Lyapunov, metode ini menggunakan suatu fungsi diferensiabel dan kontinu yang dapat dinyatakan sebagai fungsi jarak diperumum dari titik tetap. Metode keempat yaitu metode linearisasi. Pada metode ini, analisa kestabilan dapat dilakukan dengan melihat nilai eigen dari sistem yang telah dilinearkan. Metode yang terakhir adalah kestabilan input/output, dimana pada metode ini mengacu pada sistem BIBO. Untuk menggambarkan teori kestabilan tersebut maka digunakan sistem persamaan gerak longitudinal pesawat terbang BWB AC 20.30.

Kata kunci: kestabilan sistem, LTI.

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF STABILITY DYNAMIC SYSTEMS

LINEAR TIME INVARIANT (LTI)

By

Maulida Agustin

14610008

Stability is one frequent issue in applied mathematics. As an example, the prediction of instability of the mathematical model in many cases leads to statement that the model adequately represents the unappropriate physical process. The unstability of a system gives unfavorable impact to the system itself. The stability of dynamic system *Linear Time Invariant* (LTI) can be analyzed by several methods. The first method is the eigenvalue method, where this method uses eigenvalue to determine whether or not the system is stable. The second method is called The Routh-Hurwitz. This method can be divided into 2 kinds of testing, those are Routh test (show the existence of roots which are unstable as well as its total, but it does not determine the value nor possibilities to avoid the instability) and Hurwitz test (checking whether the root characteristic equations have certain negative part. It will be determined by the use of determinant). The third method is Lyapunov method. This method uses differential and continuous function which can be considered as a fixed range function from a fixed point. The fourth method is linearization method. The fourth method is linearization method. In this method, stability analysis can be looking at the eigenvalues of linearization function of system. The last method is the stability of input / output, which refers to BIBO system. To describe the theory of stability, the researcher uses longitudinal motion equation system of aircraft BWB AC 20.30.

Keywords: Stability System, LTI

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika adalah salah satu disiplin ilmu yang dapat diterapkan di berbagai ilmu pengetahuan dan dapat memberikan interpretasi solusi lebih rinci. Pada 2.500 tahun lalu, ahli pikir Yunani bernama Thales menemukan bahwa matematika tidak hanya dapat digunakan untuk menghitung, namun juga untuk mempelajari alam semesta.

Dalam kehidupan sehari-hari permasalahan yang sering muncul yaitu masalah yang dipengaruhi oleh perubahan gerak dan waktu yang disajikan dalam bentuk sistem dinamik. Misalnya pada sistem mangsa-pemangsa. Pada sistem ini, banyaknya mangsa dan banyaknya pemangsa bergantung pada waktu.

Permasalahan-permasalahan nyata tersebut dapat diselesaikan dengan metode teoritis dan matematis setelah melalui tahap-tahap pemodelan matematika. Sebuah model akan diterima jika hasil dari pemodelan tersebut valid (Iswanto, 2012:14). Menurut Iswanto (2012:01), suatu model matematika dikatakan valid apabila mampu memberikan gambaran objek yang sedang diamati dengan cukup jelas atau secara luas mampu menggambarkan kondisi lapangan yang sesungguhnya, sehingga tujuan dari penyusunan model tercapai.

Model matematis sistem dinamik biasanya didefinisikan dengan persamaan diferensial dari hukum-hukum fisik yang bekerja pada sistem. Beberapa contoh hukum dalam bidang fisika yang biasanya digunakan dalam memodelkan sistem dinamik yaitu hukum kekekalan, hukum empiris, hukum Newton dan sebagainya (Musthofa, 2015:06).

Tentunya model yang diinginkan adalah permodelan yang lebih akurat. Faktanya model yang lebih akurat memunculkan persamaan yang sangat rumit sehingga kerja fisik sistem tersebut susah untuk dipahami secara sederhana. Oleh karena itu, pemodelan matematika dengan sistem linear yang lebih sederhana dapat dilakukan untuk mendapatkan *feeling* kerja sistem sebelum menggunakan persamaan yang lebih lengkap untuk akurasi lebih baik.

Persamaan diferensial dikatakan linear jika koefisien-koefisiennya merupakan konstanta atau fungsinya hanya mengandung variabel bebas. Sistem dinamik yang mengandung komponen parameter yang tidak berubah terhadap waktu dapat dikatakan sebagai persamaan diferensial koefisien konstan atau sistem *Linear Time Invariant* (LTI). Sementara jika komponen tersebut bervariasi terhadap waktu, disebut sebagai sistem *Linear Time Varying* (LTV).

Salah satu kajian penting dalam permasalahan sistem dinamik yakni bagaimana keadaan sistem tersebut, apakah sistem tersebut merupakan sistem yang stabil atau tidak stabil. Sebuah sistem dikatakan tidak stabil jika tanggapannya terhadap suatu masukan menghasilkan osilasi yang keras atau bergetar pada suatu amplitudo/harga tertentu. Sebaliknya suatu sistem disebut

stabil jika sistem tersebut akan tetap dalam keadaan diam atau berhenti kecuali jika dirangsang (dieksitasi oleh suatu fungsi masukan dan akan kembali dalam keadaan diam jika eksitasi tersebut dihilangkan) (Laksono, 2014:122).

Ketidakstabilan merupakan suatu keadaan yang tidak menguntungkan bagi sistem, karena hal tersebut dapat menghambat keefektifitasan kinerja sistem. Oleh karena itu kestabilan suatu sistem sangatlah penting. Hal ini juga terjadi pada benda-benda angkasa, misalnya gerak matahari yang mempunyai pengendalian agar tetap bergerak atau beredar pada tempat peredarannya dan berputar dengan kecepatan yang stabil dalam mengitari pusat galaksinya. Fakta ilmiah ini telah dinyatakan dalam Al-Qur'an surah Yasin ayat 38 yang berbunyi

وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَّهَا ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ

Artinya : *“Dan matahari beredar di tempat peredarannya. Demikianlah ketetapan yang Maha perkasa lagi maha mengetahui”*.

Oleh karena itu, penelitian ini membahas tentang kestabilan sistem dinamik *Linear Time Invariant (LTI)*. Kestabilan sistem dinamik *Linear Time Invariant (LTI)* dapat dianalisis menggunakan lima metode yaitu, metode nilai eigen, Routh-Hurwitz, Lyapunov, linierisasi dan metode input/output. Kelima metode tersebut mempunyai cara dan kriteria yang berbeda untuk menganalisis kestabilan sistem.

Metode pertama yaitu metode nilai eigen. Pada metode ini dilakukan peninjauan pada nilai eigen dari sistem tersebut. Metode Routh–Hurwitz, metode ini dibagi menjadi dua uji, yaitu Uji Routh (menunjukkan adanya akar-akar yang tidak stabil beserta jumlahnya tetapi tidak menentukan nilai dari akar-akar tersebut) dan Uji Hurwitz (menentukan kestabilan dengan meninjau determinan dari submatriks Hurwitz). Metode ketiga yaitu metode Lyapunov, metode ini menggunakan fungsi diferensiabel dan kontinu yang dapat dinyatakan sebagai fungsi diperumum dari titik tetap. Keempat yaitu metode linearisasi, metode ini merupakan kestabilan sebuah sistem otonom non-linear yang mengacu pada perilaku solusi di suatu titik ekuilibrium, dan metode terakhir yaitu metode *input/output*. Metode *input/output* mengacu pada sistem *Bounded Input-Bounded Output* (BIBO).

Penelitian ini juga memberikan gambaran kestabilan pada salah satu sistem dinamik yaitu gerak longitudinal pesawat terbang BWB AC 20.30. Gambaran tersebut bertujuan untuk memberikan pemahaman lebih lanjut tentang analisis kestabilan sistem.

1.2 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan tersebut, maka pembahasan penelitian ini dibatasi oleh hal-hal berikut :

1. Permasalahan sistem yang akan digunakan adalah sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI).

2. Sistem yang akan dijadikan contoh dalam pembahasan dan dijadikan bahan simulasi adalah sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI) yang telah terbentuk menjadi persamaan *state-space* dan telah diketahui parameter-parameter dari sistem tersebut.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka rumusan masalah yang menjadi pembahasan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode nilai eigen?
2. Bagaimana analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode Routh-Hurwitz?
3. Bagaimana analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode Lyapunov?
4. Bagaimana analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode linearisasi?
5. Bagaimana analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode *input-output*?
6. Bagaimana gambaran teori kestabilan di atas jika diterapkan pada sistem gerak longitudinal pesawat terbang BWB AC 20.30?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Menjelaskan analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode nilai eigen.
2. Menjelaskan analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode Routh-Hurwitz.
3. Menjelaskan analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode Lyapunov.
4. Menjelaskan analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode linearisasi.
5. Menjelaskan analisis kestabilan sistem dinamik dengan menggunakan metode *input-output*.
6. Menjelaskan gambaran teori-teori kestabilan yang diterapkan pada sistem gerak longitudinal pesawat terbang BWA AC 20.30.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penyusunan penelitian ini adalah:

1. Bagi Penulis

Penelitian ini memberi manfaat sebagai tambahan pengetahuan mengenai matematika terapan yang nantinya dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

2. Bagi Program Studi Matematika

Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi pada penerapan ilmu matematika khususnya di bidang sistem kendali dan mampu menjadi rujukan pembelajaran maupun penelitian selanjutnya mengenai konsep kestabilan suatu sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI).

1.6 Kajian Pustaka

Tinjauan pustaka pada penelitian ini diambil dari beberapa literatur yang tersebut dalam daftar pustaka, diantaranya buku karangan Jan Willem Polderman dan Jan C. Willems yang berjudul *Introduction to Mathematical Systems Theory* yang diterbitkan pada tahun 1997 dan buku karangan G. J. Olsder dan Woude J.W yang berjudul *Mathematical System Theory* yang diterbitkan pada tahun 2004 dan beberapa buku lainnya.

Selain itu, digunakan juga tinjauan pustaka dari beberapa penelitian sebelumnya yang terkait dengan kestabilan sistem dinamik yang memberi inspirasi dalam penelitian ini.

Erin Dwi Fentika dan Zulakmal dalam jurnalnya yang berjudul *Stabilisasi Sistem Linear Positif Menggunakan State Feedback* dikaji proses sistem kontrol *Linear Time Varying* yang tidak stabil dapat menggunakan kendali $u = -K_s x$ untuk suatu matriks *feedback* $K_s \in \mathbb{R}^{m \times n}$.

Musa Herlambang (2015) dalam skripsinya yang berjudul *Analisis Kestabilan Titik Equilibrium Gerak Longitudinal Pesawat Terbang BWB AC 20.30 Menggunakan Metode Nilai Eigen dan Metode Routh-Hurwitz Serta Simulasi*

Menggunakan Matlab Simulink hanya menggunakan dua metode yaitu Metode Nilai Eigen dan Metode Routh-Hurwitz untuk menganalisis kestabilan Pesawat Terbang BWB AC 20.30.

Reni Sundari dan Erna Apriliani (2017) dalam artikelnya yang berjudul *Konstruksi Fungsi Lyapunov untuk Menentukan Kestabilan* membahas mengenai mengkonstruksi fungsi Lyapunov untuk menganalisis kestabilan pada sistem nonlinear dengan menggunakan metode variabel gradien, metode Krasovskii, dan metode Energi-Casimir. Hasil konstruksi fungsi Lyapunov tersebut diterapkan pada contoh-contoh sistem dinamik nonlinear yaitu sistem Lorenz.

Penelitian ini membahas mengenai konsep kestabilan sistem dinamik secara rinci dari beberapa metode yang ada, seperti metode nilai eigen, Routh-Hurwitz, Lyapunov, linearisasi dan *Input/output*. Implementasi dari metode-metode tersebut akan disimulasikan pada sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI) yaitu pesawat terbang BWB AC 20.30. Simulasi tersebut menggunakan aplikasi MATLAB R2013a.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Tabel 1.1 Tinjauan Pustaka

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Perbedaan
1.	Erin Dwi Fentika dan Zulakmal	Stabilisasi Sistem Linier Positif Menggunakan <i>State Feedback</i>	proses sistem kontrol <i>Linear Time Varying</i> yang tidak stabil dapat menggunakan kendali $u = -K_s x$ untuk suatu matriks <i>feedback</i> $K_s \in \mathbb{R}^{m \times n}$.
2.	Musa Herlambang	Analisis Kestabilan Titik <i>Equilibrium</i> Gerak Longitudinal Pesawat Terbang BWB AC 20.30 Menggunakan Metode Nilai <i>Eigen</i> dan Metode Routh- Hurwitz Serta Simulasi Menggunakan Matlab <i>Simulink</i>	menganalisis kestabilan Pesawat Terbang BWB AC 20.30 menggunakan dua metode yaitu Metode Nilai Eigen dan Metode Routh- Hurwitz

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Perbedaan
3.	Reni Sundari dan Erna Apriliani	Konstruksi Fungsi Lyapunov untuk Menentukan Kestabilan	mengkonstruksi fungsi Lyapunov untuk menganalisis kestabilan pada sistem nonlinier dengan menggunakan metode variabel gradien, metode Krasovkii, dan metode Energi-Casimir
4.	Maulida Agustin	Analisi Kestabilan Sistem Dinamik <i>Linear Time</i> <i>Invariant</i> (LTI)	membahas mengenai konsep kestabilan sistem dinamik secara rinci dari beberapa metode yang ada, seperti metode nilai eigen, Routh- Hurwitz, Lyapunov, linearisasi dan <i>Input/output</i> .

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari lima bab yaitu

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah yang akan diusung dalam penelitian ini. Selain itu, bab ini juga menjelaskan tentang batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan dan metode penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang beberapa teori yang akan digunakan dalam penyusunan penelitian ini yang meliputi matriks, vektor, norm, persamaan diferensial, sistem dinamik dan beberapa teori lainnya.

BAB III ANALISIS KESTABILAN SISTEM DINAMIK *LINEAR TIME INVARIANT* (LTI)

Bab ini menjelaskan tentang metode kestabilan sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI) yaitu metode nilai eigen, Routh-Hurwitz, Lyapunov, linearisasi dan *Input/Output*. Selain itu, pada bab ini diberikan contoh penerapan pada sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI) dari masing-masing metode.

BAB IV SIMULASI

Bab ini menjelaskan tentang gambaran dari beberapa metode kestabilan yang telah dijelaskan pada bab III. Gambaran tersebut dilakukan dengan mensimulasi suatu sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI) dengan menggunakan program MATLAB R2013a.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian secara keseluruhan, serta saran yang dapat digunakan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

1.8 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan penelitian ini adalah metode studi literatur, yaitu membahas topik masalah secara teoritis dan konseptual. Sumber-sumber literatur yang digunakan sebagai rujukan diperoleh dari karya ilmiah dan buku referensi yang menunjang penelitian tentang kestabilan sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI).

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan penulis dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur mengacu pada beberapa sumber seperti buku, jurnal, skripsi, tesis dan internet yang berhubungan dengan kestabilan sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI). Adapun sumber utama dalam penelitian ini

yaitu buku yang ditulis oleh Jan Willem Polderman (1997) dengan judul *Introduction to Mathematical Systems Theory*.

2. Analisis Kestabilan

Tahap ini dilakukan analisis dan eksplorasi konsep kestabilan sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI) pada masing-masing metode yang ada.

3. Simulasi

Tahap ini dilakukan simulasi pada suatu sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI) yaitu, sistem gerak longitudinal pesawat terbang BWB AC 20.30 dengan menggunakan program MATLAB R.2013a.

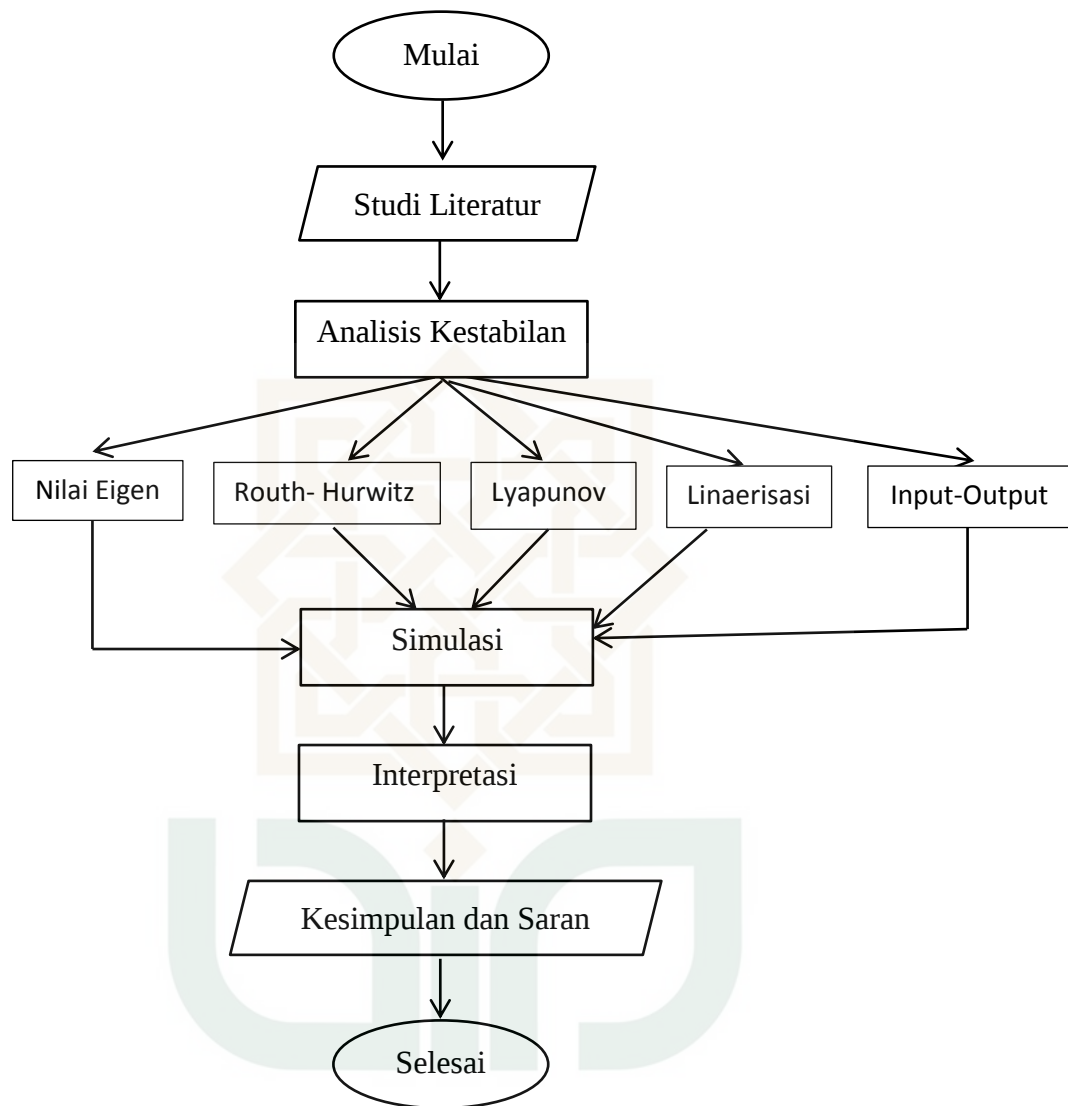
4. Interpretasi

Tahap Interpretasi bertujuan untuk menjelaskan hasil simulasi dari suatu sistem dinamik *Linear Time Invariant* (LTI) agar dapat memberikan informasi yang lebih jelas.

5. Kesimpulan dan Saran

Tahap kesimpulan bertujuan untuk menyatakan hasil dari tahapan analisis dan penelitian secara keseluruhan.

Langkah-langkah di atas dapat disajikan dalam sebuah *flowchart* sebagai berikut



Gambar 1.1 Bagan Alur Metodelogi Penelitian.

BAB V

PENUTUP

Tujuan dari bab ini yaitu untuk memaparkan kesimpulan dari penelitian yang berjudul “*Analisis Kestabilan Sistem Linear Time Invariant*” serta saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Kestabilan sistem yaitu keadaan sistem jika diberikan suatu gangguan maka sistem masih berada pada titik setimbangnya, atau dapat dikatakan jika sistem diberikan input yang terbatas, maka output dari sistem haruslah terbatas. Hal tersebut dibutuhkan sistem agar sistem tersebut bekerja secara efektif.

Kestabilan sistem dinamik *Linear Time Invariant* berbanding lurus dengan kestabilan titik ekuilibrium dari sistem tersebut. Kestabilan sistem atau kestabilan titik ekuilibrium dapat dianalisis menggunakan lima metode. Metode pertama yaitu metode nilai eigen. Pada metode ini untuk menentukan kestabilan dapat ditinjau dari bagian real nilai eigen sistem tersebut. Titik ekuilibrium $\tilde{x} = 0$ dikatakan stabil asimtotik jika dan hanya jika $\text{Re}(\lambda_i) < 0$ untuk setiap $i = 1, 2, \dots, k$. Titik ekuilibrium $\tilde{x} = 0$ dikatakan stabil jika dan hanya jika $\text{Re}(\lambda_i) \leq 0$ untuk setiap $i = 1, 2, \dots, k$, dan untuk setiap nilai eigen λ_i pada sumbu imajiner dengan $\text{Re}(\lambda_i) = 0$ yang multiplisitas aljabar dan multiplisitas geometri untuk nilai eigen sama, dan titik ekuilibrium $\tilde{x} = 0$ dikatakan tidak stabil jika dan hanya jika $\text{Re}(\lambda_i) > 0$ untuk setiap $i = 1, 2, \dots, k$, atau terdapat nilai eigen λ_i

pada sumbu imajiner dengan $\text{Re}(\lambda_i) = 0$ yang multiplisitas aljabar lebih besar dari pada multiplisitas geometri untuk nilai eigen.

Metode kedua yaitu Routh-Hurwitz. Pada metode ini ada dua uji untuk melakukan kestabilan yaitu Uji Routh dan Uji Hurwitz. Menurut Uji Routh, sistem dikatakan stabil jika dan hanya jika semua elemen dari susunan Routh bernilai positif, sedangkan menurut Uji Hurwitz, sistem dikatakan stabil jika dan hanya jika setiap determinan Hurwitz bernilai positif.

Metode ketiga yaitu metode Lyapunov. Pada metode ini digunakan fungsi skalar untuk menentukan kestabilan. Menurut metode Lyapunov, sistem dikatakan stabil jika $P > 0$ dan $Q \leq 0$, dikatakan stabil asimtotik, jika $P > 0$, $Q < 0$ serta (A, Q) teramati. Namun jika jika P tidak ≥ 0 , $Q \leq 0$ dan (A, Q) teramati, maka sistem dikatakan tidak stabil.

Metode selanjutnya yaitu metode linierisasi. Metode ini tak jauh berbeda dengan metode nilai eigen, hanya saja pada metode ini menggunakan sistem non-linear yang telah dilinearisasikan. Pada metode ini, titik ekuilibrium dikatakan stabil asimtotik jika semua nilai eigen dari matriks $f'(\tilde{x})$ memiliki bagian real negatif, dan dikatakan tidak stabil jika ada salah satu nilai eigennya memiliki bagian real positif.

Metode terakhir yaitu kestabilan input/output, metode ini mengacu pada *Bounded Input-Bounded Output* (BIBO). Suatu sistem dikatakan stabil secara eksternal jika matriks A adalah matriks stabil.

Tabel 5.1 Karakteristik Kestabilan

No.	Metode	Karakteristik Kestabilan		
		Stabil Asimtotik	Stabil	Tidak Stabil
1.	Nilai Eigen	$\operatorname{Re}(\lambda_i) < 0$, $i = 1, 2, \dots, k.$	$\operatorname{Re}(\lambda_i) \leq 0$, $i = 1, 2, \dots, k.$	$\operatorname{Re}(\lambda_i) > 0$, $i = 1, 2, \dots, k.$
2.	Routh-Hurwitz			
	a. Uji Routh	-	$r_0 > 0, \dots, r_n > 0$	Tidak memenuhi kriteria stabil
	b. Uji Hurwitz	-	$\Delta_1 > 0, \dots, \Delta_n > 0$	Tidak memenuhi kriteria stabil
3.	Lyapunov	$P > 0, Q \leq 0$, dan (A, Q) teramati	$P > 0$ dan $Q \leq 0$	P tidak ≥ 0 , $Q \leq 0$, dan (A, Q) teramati
4.	Linierisasi	$\operatorname{Re}(\lambda_i) < 0$, $i = 1, 2, \dots, k.$	-	$\operatorname{Re}(\lambda_i) > 0$, $i = 1, 2, \dots, k.$
5.	Input/Output	Adalah matriks stabil	-	Tidak memenuhi kriteria stabil asimtotik

Salah satu sistem yang digunakan untuk menggambarkan konsep kestabilan dalam dunia teknik yaitu model sistem gerak longitudinal pesawat terbang BWB AC 20.30. Gerak longitudinal pesawat terbang BWB AC 20.30 sangat dipengaruhi oleh gerak *short period mode*, semakin besar karakteristik gerak *short period mode* yaitu gerak translasi (w) di sumbu yaw Z maka kondisi pesawat akan semakin mendekati stabil asimtotik. Dari hasil simulasi diperoleh, saat kondisi awal gerak translasi $w = 28$ dan $t = 0 - 300$ detik sistem tersebut menunjukkan dalam keadaan stabil asimtotik.

5.2 Saran

Pada penelitian dan studi literatur yang dilakukan penulis ini masih terdapat beberapa hal yang perlu disempurnakan. Berikut saran yang disampaikan untuk penelitian selanjutnya

1. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat menganalisis kestabilan sistem dinamik selain sistem dinamik *Linear Time Invariant* seperti, *Linier Time Varying* atau kestabilan sistem dinamik secara menyeluruh yang dapat digunakan oleh segala macam bentuk sistem.
2. Penelitian selanjutnya dapat menganalisis sifat-sifat sistem selain kestabilan sistem dinamik *Linier Time Invariant* yang belum dipelajari selama proses perkuliahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirin, Tatang M. 1989. *Pokok-Pokok Teori Sistem*. Jakarta: Rajawali.
- Anton, Howard. 1987. *Aljabar Linear Elementer*. Edisi ke 5. Diterjemahkan oleh: Pantur Silaban dan I Nyoman Susila. Jakarta: Erlangga.
- Anton, Howard. 2000, *Dasar-Dasar Aljabar Linear*. Jakarta: Karisma Publishing.
- Laksono, Heru Dibyo. 2004. *Sistem Kendali*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Firdaus, M. Miftahul. 2017. *Pemodelan Matematis Teorema Kendali*.
<https://www.quareta.com/post/permodelan-matematis-teorema-kendali>.
- Gohberg, Israel., Pater Lancaster, dan Leiba Rodman. 1986. *Invariant Subspace of Matrices with Applications*. New York: John Wiley & Sons.
- Heij, Chirstiaan., Andre Ran., dan Freek Van Schagen. 2007. *Introduction to Mathematical System Teory Linear System, Identification and Control*. Jerman: Brikhäuser Verlag.
- Hinrichen, Diederich., dan Pritchard, Anthony J. 2005. *Mathematicl System Theory I (Modelling, State Space Analysis, Stability and Robustness)*. Berlin: Springer-Verlag
- Herlambang, Musa. 2015. *Analisis Kestabilan Titik Equilibrium Gerak Longitudinal Pesawat Terbang BWB AC 20.30 Menggunakan Nilai Eigen dan Metode Routh-Hurwitz Serta Simulasinya Menggunakan MATLAB SIMULINK*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Saintek dan Teknologi. UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Horn, R. A., dan Johnson, C.R. 1990. *Matrix Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Iswanto, Ripno Juli. 2012. *Pemodelan Matematika: aplikasi dan terapannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusmawati, Ririen. 2009. *Aljabar Linear dan Matriks*. Malang: UIN Malang Press.
- Luenberger, D. G. 1979. *Introduction to Dinamic System Theory, Models, and Aplications*. New York: John Wiley and Sons.
- Musthofa, M. Wakhid. 2015. *Pengantar Teori Sistem dan Kendali*. Yogyakarta: Jurusan Matematika, Fakultas SAINTEK-UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

- Olsder, G. J. & Woude, J. W. van der. 2004. *Mathematical System Theory: Third Intermediate edition*. Delf: VVSD.
- Polderman, Jan Willem, dan Jan C. Willems. 1997. *Introduction to Mathematical Theory of System and Control*. Berlin :Springer-Verlag.
- Perko, Lawrence. 2001. *Differential Equation and Dynamical System: Third Edition*. New York: Springer-Verlag, New York.
- Purcel, Edwin J., dan Dale Varberg. 1987. *Kalkulus dan Geometri Analitid jilid 1*. Edisi ke 5. Diterjemahkan oleh: I Nyoman Susila, Bana Kartasasmita, dan Rawuh. Bandung: Erlangga.
- Ross, Shepley L. 1984. *Differential Equation: Third Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Soemantri, R. 1994. *Fungsi Variabel Kompleks*. Yogyakarta: Yogyakarta Press.
- Smith, R. T. 2002. *Calculus Multivariable (2nd edition ed.)*. New York: Mc Graw Hill.
- Subiono. 2010. *Matematika Sistem*. Surabaya: Jurusan Matematika, FMIPA-ITS
- Sutarman, E. 2010. *Matematika Teknik*. Yogyakarta: Andi.

Lampiran-Lampiran

Lampiran 1

M-file Aturan Cramer

```
1 %Aturan Cramer
2 %Program 1
3 - disp('Aturan Cremer')
4 - disp(' ')
5 - P=[-0.2074 -1.3968 0.4376 0 0 0 0 0 0 0;
6     -0.8824 -5.2515 -0.7572 0 -0.6984 0.02188 0 0 0 0;
7     0 20 -0.1037 1 0 -0.6984 0 0.2188 0 0;
8     -9.81 0 0 -0.1037 0 0 -0.6984 0 0.2188 0;
9     0 -1.7648 0 0 -10.2956 -1.5144 0 0 0 0;
10    0 0 -0.8824 0 20 -5.1478 1 -0.7572 0 0;
11    0 -9.81 0 -0.8824 0 0 -5.1478 0 -0.7572 0;
12    0 0 0 0 0 40 0 -5.62e-5 2 0;
13    0 0 -9.81 0 0 0 20 0 -2.81e-5 1;
14    0 0 0 -19.62 0 0 0 0 0 0];
15 - Q=[-1;0;0;0;-1;0;0;-1;0;-1];
16 - P1=P;P2=P;P3=P;P4=P;P5=P;P6=P;P7=P;P8=P;P9=P;P10=P;
17 - P1(:,1)=Q;
18 - P2(:,2)=Q;
19 - P3(:,3)=Q;
20 - P4(:,4)=Q;
21 - P5(:,5)=Q;
22 - P6(:,6)=Q;
23 - P7(:,7)=Q;
24 - P8(:,8)=Q;
25 - P9(:,9)=Q;
26 - P10(:,10)=Q;
27 - disp('p11=det(P1)/det(P)')

28 - p11=det(P1)/det(P)
29 - disp('p12=det(P2)/det(P)')
30 - p12=det(P2)/det(P)
31 - disp('p13=det(P3)/det(P)')
32 - p13=det(P3)/det(P)
33 - disp('p14=det(P4)/det(P)')
34 - p14=det(P4)/det(P)
35 - disp('p22=det(P5)/det(P)')
36 - p22=det(P5)/det(P)
37 - disp('p23=det(P6)/det(P)')
38 - p23=det(P6)/det(P)
39 - disp('p24=det(P7)/det(P)')
```

```

40 - p24=det(P7)/det(P)
41 - disp('p33=det(P8)/det(P)')
42 - p33=det(P8)/det(P)
43 - disp('p34=det(P9)/det(P)')
44 - p34=det(P9)/det(P)
45 - disp('p44=det(P10)/det(P)')
46 - p44=det(P10)/det(P)
47 - P=[p11 p12 p13 p14;p12 p22 p23 p24;
48     p13 p23 p33 p34;p14 p24 p34 p44]
49
50 %Mencari Determinan submatrik utama dari matriks P
51 %program 2
52 - disp('Determinan minor 4')
53 - minor4=det(P)
54
55 - P(:,4)=[];
56 - P(4,:)=[]
57 - disp('Determinan minor 3')
58 - minor3=det(P)
59
60 - P(:,3)=[];
61 - P(3,:)=[]
62 - disp('Determinan minor 2')
63 - minor2=det(P)
64
65 - P(:,2)=[];
66 - P(2,:)=[]
67 - disp('Determinan minor 1')
68 - minor1=det(P)
69

```

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Lampiran 2

M-file gerak longitudinal pesawat terbang BWB AC 20.30 saat kondisi awal sama dengan nol

```
1 - A=[-0.1037 -0.8824 0 -9.81; -0.6984 -5.1478 20 0; 0.2188 -0.7572
2 -     -2.81e-5 0; 0 0 1 0];
3 - B=[-0.1769 -0.9938 -1.0798; -13.4283 -12.1762 -18.6711; -20.9719 -6.188
4 -     11.6014; 0 0 0];
5 - C=[1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0 1];
6 - D=[0];
7 - sys=ss(A,B,C,D)
8 - t = 0:0.01:300;
9 - x = initial(sys,[0;0;0;0],t);
10 - x1 = [1 0 0 0]*x';
11 - x2 = [0 1 0 0]*x'; x3 = [0 0 1 0]*x'; x4 = [0 0 0 1]*x';
12 - plot(t,x1);
13 - xlabel('t (sec)');
14 - ylabel('amplitudo');
15 - title('Output saat initial conditions=0');
16 - grid on
```

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Lampiran 3

M-file gerak *short periode mode* saat kondisi awal gerak translasi $w=5$ dan $t=0-300$ detik.

```
1 - A=[-0.1037 -0.8824 0 -9.81; -0.6984 -5.1478 20 0; 0.2188
2 - -0.7572 -2.81e-5 0; 0 0 1 0];
3 - B=[-0.1769 -0.9938 -1.0798; -13.4283 -12.1762 -18.6711;
4 - 20.9719 -6.188 -11.6014; 0 0 0];
5 - C=[1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0 1];
6 - D=[0];
7 - sys=ss(A,B,C,D)
8 - t = 0:0.01:300;
9 - x = initial(sys,[0;5;0;0],t);
10 - x1 = [1 0 0 0]*x';
11 - x2 = [0 1 0 0]*x'; x3 = [0 0 1 0]*x'; x4 = [0 0 0 1]*x';
12 - plot(t,x1);
13 - xlabel('t (sec)');
14 - ylabel('amplitudo');
15 - title('Output saat initial conditions=0');
16 - grid on
```

Lampiran 4

M-file gerak *short periode mode* saat kondisi awal gerak translasi $w = 28$ dan $t = 0 - 300$ detik.

```
1 - A=[-0.1037 -0.8824 0 -9.81; -0.6984 -5.1478 20 0;  
2 -     0.2188 -0.7572 -2.81e-5 0; 0 0 1 0];  
3 - B=[-0.1769 -0.9938 -1.0798; -13.4283 -12.1762 -18.6711;  
4 -     -20.9719 -6.188 -11.6014; 0 0 0];  
5 - C=[1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0 1];  
6 - D=[0];  
7 - sys=ss(A,B,C,D)  
8 - t = 0:0.01:300;  
9 - x = initial(sys,[0;28;0;0],t);  
10 - x1 = [1 0 0 0]*x';  
11 - x2 = [0 1 0 0]*x'; x3 = [0 0 1 0]*x'; x4 = [0 0 0 1]*x';  
12 - plot(t,x1);  
13 - xlabel('t (sec)');  
14 - ylabel('amplitudo');  
15 - title('Output saat initial conditions=0');  
16 - grid on
```

Lampiran 5

M-file gerak *Phugoid mode* saat kondisi awal sudut ketinggian $\theta=5$ dan $t=0-300$ detik.

```
1 - A=[-0.1037 -0.8824 0 -9.81; -0.6984 -5.1478 20 0; 0.2188
2 - -0.7572 -2.81e-5 0; 0 0 1 0];
3 - B=[-0.1769 -0.9938 -1.0798; -13.4283 -12.1762 -18.6711;
4 - -20.9719 -6.188 -11.6014; 0 0 0];
5 - C=[1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0 1];
6 - D=[0];
7 - sys=ss(A,B,C,D)
8 - t = 0:0.01:300;
9 - x = initial(sys,[0;0;0;5],t);
10 - x1 = [1 0 0 0]*x';
11 - x2 = [0 1 0 0]*x'; x3 = [0 0 1 0]*x'; x4 = [0 0 0 1]*x';
12 - plot(t,x1);
13 - xlabel('t (sec)');
14 - ylabel('amplitudo');
15 - title('Output saat initial conditions=0');
16 - grid on
```

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Maulida Agustin
Tempat,tanggal lahir : Bangkalan, 01 Agustus 1996
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : Jl. KH. Zainal Alimin RT/RW Kec. Arosbaya
Kab. Bangkalan, Jawa Timur
Status : Belum Menikah
Telepon : 087850716883
E-mail : maulida.agustin21@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan

2000-2002 : TK Muslimat ST.Khadijah Arosbaya
2002-2008 : SDN Arosbaya 03
2008-2011 : MTsN Bangkalan
2011-2014 : MAN Bangkalan

Pengalaman Organisasi

2009-2010 : Anggota OSIS MTsN Bangkalan
2010-2011 : Sekretaris umum OSIS MTsN Bangkalan
2014-2015 : Anggota Astronic
2015 : Anggota divisi sosial IKAHIMAIIKA Indonesia Wilayah IV
subwilayah Yogyakarta-Purworejo
2015-2017 : Sekretaris umum IKAHIMATIKA Indonesia Wilayah IV
2016-2017 : Kepala divisi Perhubungan HMPS Matematika UIN Sunan
Kalijaga Yogyakarta