



TUGAS AKHIR - KM184801

**PERANCANGAN KONTROL MODEL SISTEM
GEDUNG BERTINGKAT n DENGAN
MENGUNAKAN METODE *LINEAR QUADRATIC
REGULATOR* (LQR)**

**ZHAFIRA ARDELIA IRAWAN
NRP 0611164000044**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Didik Khusnul Arif, S.Si., M.Si.**

**DEPARTEMEN MATEMATIKA
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



FINAL PROJECT - KM184801

***DESIGNING MODEL CONTROL OF n FLOOR
STOREY BUILDING SYSTEM WITH LINEAR
QUADRATIC REGULATOR (LQR) METHOD***

ZHAFIRA ARDELIA IRAWAN
NRP 0611164000044

Supervisor
Dr. Didik Khusnul Arif, S.Si., M.Si.

DEPARTMENT OF MATHEMATICS
Faculty of Science and Data Analytics
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN KONTROL MODEL SISTEM
GEDUNG BERTINGKAT n DENGAN
MENGUNAKAN METODE *LINEAR QUADRATIC
REGULATOR* (LQR)**

***DESIGNING MODEL CONTROL OF n FLOOR STOREY
BUILDING SYSTEM WITH LINEAR QUADRATIC
REGULATOR (LQR) METHOD***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika
Pada bidang studi Matematika Terapan
Program Studi S-1 Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

ZHAFIRA ARDELIA IRAWAN
NRP. 06111640000044

Menyetujui,
Dosen Pembimbing,



Dr. Didik Khusnul Arif, S.Si., M.Si.
NIP. 19690405 199403 2 003

Mengetahui,

Kepala Departemen Matematika
FSAD ITS



Subchan, Ph.D.
NIP. 19710513 199702 1 001
Surabaya, 18 Agustus 2020

PERANCANGAN KONTROL MODEL SISTEM GEDUNG BERTINGKAT n DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)*

Nama : Zhafira Ardelia Irawan
NRP : 0611164000044
Jurusan : Matematika
Dosen Pembimbing : Dr. Didik Khusnul Arif, S.Si., M.Si.

ABSTRAK

Gedung bertingkat merupakan salah satu solusi yang dianggap mampu untuk menjawab permasalahan dari terus meningkatnya pertumbuhan penduduk yang signifikan di Indonesia. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan sistem gedung bertingkat n . Model sistem gedung bertingkat n dalam penelitian ini didapatkan dari penurunan Hukum II Newton dan dipresentasikan dalam bentuk *State Space*. Analisis model sistem yang dilakukan berdasarkan *piece by piece* setiap lantai. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis model gedung bertingkat 5 dari data yang telah ada. Dari pemodelan sistem gedung bertingkat n dapat diketahui sifat – sifat dari sistem yaitu kestabilan dan keterkontrolan. Setelah itu dilakukan desain kontrol optimal dengan Metode *Linear Quadratic Regulator (LQR)*. Sistem kontrol optimal yang diperoleh di pasangkan ke sistem awal dan menghasilkan sistem dengan kontrol. Setelah itu dilakukan simulasi numerik yang digunakan untuk membandingkan sistem awal dengan sistem dengan kontrol optimal. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa sistem dengan kontrol optimal mempunyai performansi yang lebih baik dari pada sistem awal yang dapat dilihat dari grafik pada simulasi hasil.

Kata kunci: pemodelan matematika, state space, desain kontrol gedung bertingkat, linear quadratic regulator.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**DESIGNING MODEL CONTROL OF n FLOOR STOREY
BUILDING SYSTEM WITH LINEAR QUADRATIC
REGULATOR (LQR) METHOD**

Name : Zhafira Ardelia Irawan
Student Number : 0611164000044
Departement : Mathematics
Supervisor : Dr. Didik Khusnul Arif, S.Si., M.Si.

ABSTRACT

Multi-storey building is one of a few solution that is able to answer the problem of being maintained by a significant population in Indonesia. In this study, the modeling of n -storey building systems was carried out. The multi-storey building system model in this study is derived from Newton's Second Law and is presented in the form of State Space. Analysis of the system model is carried out on a piece-by-piece basis for each floor. In this study, an analysis of the 5-storey building model will be carried out from existing data. From the multi-storey building system modeling and it can be seen the properties of the system that is stable and controllable. After that, the optimal control design was carried out using the Linear Quadratic Regulator (LQR) Method. The optimal control system that obtained being paired to the initial system and produces a system with controls. After that, a numerical simulation is used to compare the initial system with the optimal control system. The results showed that the system with optimal control has better performance than the initial system which can be seen from the graph in the simulation results.

Keywords: *mathematical modeling, state space, multi-storey building control design, linear quadratic regulator.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, yang telah menganugerahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Perancangan Kontrol Model Sistem Gedung Bertingkat n dengan Menggunakan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) ini dengan baik dan lancar. Segala hambatan dan rintangan yang telah penulis alami dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini telah menjadi sebuah pelajaran dan pengalaman berharga bagi penulis dalam meningkatkan kinerjanya.

Terwujudnya tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, serta bantuan dari semua pihak. Untuk itu, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya patut penulis berikan kepada :

1. Orang tua, yang selalu membantu, baik secara moral maupun material.
2. Bapak Subchan, Ph.D. selaku Kepala Departemen Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Bapak Dr. Didik Khusnul Arif, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing penulis, yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
4. Bapak Prof. Dr. Basuki Widodo, M.Sc dan Bapak Muhammad Luthfi Shahab, S.Si., M.Si. serta Ibu Dra. Wahyu Fistia Doctorina, M.Si selaku dosen penguji yang memberikan saran dan rekomendasi terhadap Tugas Akhir ini.
5. Ibu Dra. Wahyu Fistia Doctorina, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan nasihat dan arahan selama penulis menempuh perkuliahan di Departemen Matematika ITS.
6. Bapak dan Ibu dosen, seluruh staf Tata Usaha, dan asisten laboratorium Departemen Matematika ITS.

7. Mbak Helisya dan Mas Arif selaku kakak tingkat yang telah banyak membantu menjawab mengenai hal – hal yang penulis kurang pahami.
8. Teman-teman mahasiswa dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini dapat dan bermanfaat bagi pembaca pada umumnya.

Tetapi, tak ada gading yang tak retak, begitu juga dengan penulis. Penulis menyadari, bahwa dalam penulisan dan penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari kesalahan-kesalahan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
DAFTAR SIMBOL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Pemodelan Matematika	7
2.2.1 Pengertian Pemodelan Matematika	7

2.2.2	Tahapan Model Matematika.....	8
2.3	Sistem Linier.....	9
2.3.1	Bentuk Sistem Linier.....	9
2.3.2	Kestabilan Sistem Linier.....	10
2.3.3	Keterkontrolan Sistem Linier.....	10
2.4	Representasi Model Matematika dari Gedung Bertingkat n 11	
2.5	Metode Linear Quadratic Regulator (LQR).....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....		15
3.1	Tahapan Penelitian.....	15
3.2	Diagram Alur.....	17
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		19
4.1	Model Sistem <i>Storey Building</i>	19
4.2	Simulasi.....	28
4.2.1	Analisa Sifat Sistem.....	29
4.2.2	Desain Kontrol.....	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		39
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA.....		41
Lampiran A.....		44
Lampiran B.....		52
BIODATA PENULIS.....		54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahapan Pembentukan Model Matematika	9
Gambar 2.2 Ilustrasi sistem gedung bertingkat n	11
Gambar 3.1 Diagram Alur	17
Gambar 4.1 Sistem storey building pada lantai 1 (a) dan ilustrasi sistem lantai 1 dengan sistem MDS (b)	19
Gambar 4.2 Sistem storey building pada lantai 1 (a) dan ilustrasi sistem lantai 1 dengan sistem MDS (b)	21
Gambar 4.3 Sistem storey building pada lantai 2 (a) dan ilustrasi sistem lantai 1 dengan sistem MDS (b)	22
Gambar 4. 4 Sistem storey building pada lantai 3 (a) dan ilustrasi sistem lantai 1 dengan sistem MDS (b)	23
Gambar 4.5 Sistem storey building pada lantai 4 (a) dan ilustrasi sistem lantai 1 dengan sistem MDS (b)	24
Gambar 4.6 Sistem storey building pada lantai 3 (a) dan ilustrasi sistem lantai 1 dengan sistem MDS (b)	25
Gambar 4.7 Pergeseran posisi pada bangunan 5 lantai.....	34
Gambar 4.8 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 1	35
Gambar 4.9 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 2	36
Gambar 4.10 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 3 ..	36
Gambar 4.11 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 4..	37
Gambar 4.12 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 5 ..	37

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Bangunan Kajima Shizuoka 5 lantai	29
Tabel 4. 2 Nilai Eigen Sistem Awal	31

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	44
Lampiran B.....	52

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR SIMBOL

A	: Matriks ruang keadaan
B	: Matriks masukkan kendali
C	: Matriks keluaran (<i>output</i>)
$x(t)$: Vektor ruang keadaan
$y(t)$: Output proses
$u(t)$: Input proses
Q_c	: Matriks pembobot dari variabel keadaan yang semi definit positif
R_c	: Matriks pembobot dari input yang definit positif
P_c	: Matriks penyelesaian aljabar <i>Riccati</i>
K_c	: Matriks umpan balik
J	: Fungsi biaya
M_c	: Matriks Keterkontrolan
M	: Matriks Massa
D	: Matriks Peredam
K	: Matriks Kekakuan Pegas
x_i	: Posisi pada gedung lantai ke i
\dot{x}_i	: Kecepatan pada gedung lantai ke i
u_i	: Kontrol kecepatan pada gedung lantai ke i

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini, dijelaskan mengenai beberapa hal yang menjadi latar belakang Tugas Akhir ini. Selain, itu dirumuskan masalah – masalah yang berkaitan dengan Tugas Akhir beserta batasan – batasan masalahnya. Dan ditunjukkan pula tujuan serta manfaat pada penyusunan topik Tugas Akhir ini.

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan negara dengan penduduk terbanyak ke 4 di dunia. Berdasarkan berdasarkan proyeksi hasil Survei Penduduk Antar Sensus (SUPAS) 2015 Jumlah penduduk Indonesia pada Tahun 2015 adalah 255587,90 ribu orang, pada Tahun 2016 adalah 258496,50 ribu orang, pada Tahun 2017 adalah 261355,50 ribu orang, pada Tahun 2018 adalah 264161,60 ribu orang, pada Tahun 2019 adalah 266911,90 ribu orang, dan terus mengalami peningkatan setiap tahunnya[1]. Peningkatan jumlah penduduk yang terus – menerus dan tetapnya jumlah lahan kosong yang digunakan untuk pembangunan dapat mengakibatkan krisis lahan kosong. Hal tersebut dapat menimbulkan banyak orang tidak memiliki tempat tinggal karena lahan yang semakin terbatas. Dalam hal tersebut pembangunan gedung bertingkat diperlukan untuk menimbulkan ke efisienan tempat tinggal atau dalam membangun perusahaan bagi masyarakat Indonesia.

Pembangunan gedung bertingkat juga harus tetap diperhatikan tentang adanya gangguan bencana pada gedung salah satunya gempabumi. Gempabumi di Indonesia banyak sekali menimbulkan kerugian baik kerusakan material maupun korban jiwa. Gempabumi yang dapat menyebabkan kerusakan pada suatu bangunan adalah gempabumi yang berkekuatan >5.0 Skala Richter. Bangunan bertingkat yang dibangun dengan model sistem yang kurang baik dapat menyebabkan keruntuhan gedung bertingkat dan membahayakan manusia didalam gedung karena dapat menimbulkan korban jiwa. Bangunan yang paling rawan

menimbulkan banyak korban jiwa merupakan bangunan gedung bertingkat. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menghimbau kepada seluruh kontraktor bangunan untuk menerapkan Standar Nasional Indonesia (SNI) konstruksi gedung[2].

Dalam permasalahan lahan yang semakin sempit di Indonesia dan gempa bumi yang sering terjadi memicu terbentuknya suatu pemodelan matematika. Menurut Frank R. Giordano pada bukunya yang berjudul *A First Course in Mathematical Modeling* : Model Matematika adalah idealisasi dari fenomena dunia nyata dan tidak pernah menjadi representasi yang lengkap sempurna[3].

Oleh karena itu didalam penelitian ini dilakukan suatu sistem pemodelan bangunan bertingkat n dengan perancangan kontrol optimal. Perancangan sistem pemodelan bangunan bertingkat n di representasikan dalam bentuk *State Space*. Model *State Space* dapat dibentuk dalam membuat model gedung bertingkat n dengan menambahkan adanya gangguan pada sistem liniernya. Selain itu dilakukan desain kontrol optimal pada sistem pemodelan gedung bertingkat n agar dapat meminimalisir kerusakan gedung. Metode yang digunakan merupakan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan suatu rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana sifat sistem pada model gedung bertingkat n ?
2. Bagaimana perancangan kontrol pada model gedung bertingkat n dengan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR)?
3. Bagaimana simulasi numerik dari hasil perancangan kontrol dengan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) pada model gedung bertingkat n ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bentuk bangunan bertingkat tidak menjadi fokus utama dalam pemodelan bangunan bertingkat.
2. Simulasi numerik menggunakan program MATLAB.
3. Data yang digunakan pada simulasi adalah data sekunder.
4. Bangunan bertingkat n yang dilakukan pada Tugas Akhir ini merupakan bangunan bertingkat $n = 5$.
5. Bangunan bertingkat n yang dilakukan pada Tugas Akhir ini memiliki derajat kebebasan satu.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis sifat sistem model gedung bertingkat n .
2. Menentukan langkah – langkah perancangan kontrol pada model gedung bertingkat n .
3. Menganalisis hasil simulasi numerik dari perancangan kontrol model gedung bertingkat n .

1.5 Manfaat

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu, memberikan kontribusi pengetahuan mengenai desain kontrol sistem pada gedung bertingkat n dengan menggunakan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR).

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini disusun dalam lima bab, yaitu:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang gambaran umum dari penulisan Tugas Akhir yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai definisi, teori-teori dan penelitian sebelumnya yang terkait permasalahan dalam Tugas Akhir ini untuk mendapatkan hasil analisis sistem dan kontrol optimal pada sistem yang dipilih.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan tahapan-tahapan dan metode yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

4. BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan tentang analisis sistem, yang meliputi analisis kestabilan, dan keterkontrolan sistem model bangunan bertingkat n . Setelah itu dicari kontrol optimal menggunakan *Linier Quadratic Regulator* (LQR). Kemudian hasilnya disimulasikan menggunakan software MATLAB.

5. BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan Tugas Akhir yang diperoleh dari bab pembahasan serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, dipaparkan mengenai penelitian – penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir ini. Selain itu, ditunjukkan teori – teori yang menjadi landasan masalah yang dikemukakan pada Tugas Akhir ini.

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada sub bab ini, dipaparkan mengenai penelitian – penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir. Penelitian – penelitian yang berkaitan dengan pemodelan matematika sistem gedung bertingkat.

1. Penelitian yang dilakukan oleh (Javad Mesbahi dan Alaeddin Malek, 2015)[4] dalam makalah yang berjudul “*Synchronized Control for Five-Story Building Under Earthquake Loads*”, telah dilakukan pemodelan matematika pada bangunan lima lantai dengan kemampuan tahan beban gempa. Dalam hal ini, diterapkan algoritma kontrol H_2/LQG untuk pengurangan getaran struktural. Hasil simulasi pemodelan menunjukkan bahwa kontrol tidak hanya yang mampu mengurangi tanggapan getaran untuk struktur, tetapi juga mampu digunakan dalam sinkronisasi kontrol dalam waktu yang sama. Untuk hasil numerik yang tidak terkontrol dapat menggunakan kontrol H_2/LQG sederhana dan sinkronisasi kontrol yang digabungkan dengan algoritma H_2/LQG . Terlihat bahwa untuk gempa bumi El Centro dan Bam, sinkronisasi kontrol dapat lebih efisien dalam mengurangi kerusakan sistem.
2. Penelitian yang dilakukan oleh (Adnan Farhan Sulaiman Daraghme, 2016)[6] dalam makalah yang berjudul “*Model Order Reduction of Linear Control Systems: Comparison of*

Balance Truncation and Singular Perturbation Approximation with Application to Optimal Control", telah dilakukan model reduksi berimbang untuk sistem kontrol linier, khususnya *balanced truncation* dan pendekatan *Singular Perturbation*.

3. Penelitian yang dilakukan oleh (Helisyah Nur Fadhilah, 2019)[7] dalam makalah yang berjudul "Desain Sentralisasi dan Desentralisasi Kontrol H_∞ Dengan Pendekatan Linear Matrix Inequality", telah dilakukan desain sentralisasi dan desentralisasi kontrol H_∞ pada gedung bertingkat lima dengan menggunakan metode pendekatan *Linear Matrix Inequality (LMI)*. Sentralisasi kontrol H_∞ diselesaikan menggunakan *Linear Matrix Inequality (LMI)* dan desentralisasi kontrol H_∞ diselesaikan menggunakan *Bilinear Matrix Inequality (BMI)*. Simulasi pertama sistem dengan sentralisasi kontrol H_∞ menghasilkan performansi grafik osilasi dimana sistem lup tertutup memiliki puncak yang lebih rendah daripada sistem open lup yang dapat diartikan cukup bagus. Simulasi kedua sistem dengan desentralisasi kontrol H_∞ menghasilkan sistem yang dapat mengatasi gangguan.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan model sistem bangunan bertingkat n dengan menggunakan Metode *Linear Quadratic Regulator (LQR)*.

2.2 Pemodelan Matematika

Pada sub bab ini, dipaparkan mengenai pengertian dan tahapan pemodelan matematika.

2.2.1 Pengertian Pemodelan Matematika

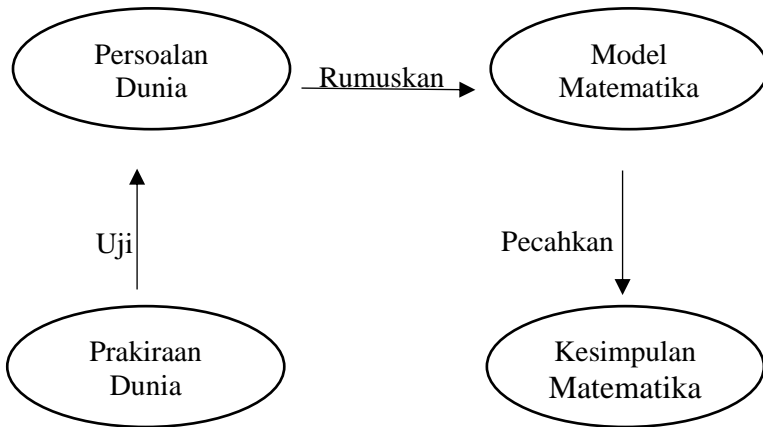
Pemodelan Matematika merupakan suatu proses merepresentasikan dan menjelaskan permasalahan pada dunia nyata ke dalam pernyataan matematis[7].

Pemodelan matematika merupakan bidang matematika yang berusaha untuk mempresentasikan dan menjelaskan sistem-sistem fisik atau problem pada dunia real dalam pernyataan matematika sehingga diperoleh pemahaman dari problem dunia real ini menjadi lebih tepat.

Dapat diartikan bahwa pemodelan matematika merupakan suatu usaha untuk menggambarkan fenomena ke dalam bentuk rumus matematis sehingga dapat dengan mudah dipelajari dan dilakukan perhitungannya.

2.2.2 Tahapan Model Matematika

Pada model matematika memiliki beberapa tahapan – tahapan yang dapat digambarkan pada Gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1 Tahapan Pembentukan Model Matematika

Pada Gambar 2.1 dapat dijelaskan bahwa tahapan pembentukan model matematika dapat dilakukan sebagai berikut[8]:

1. Mengenali dan menamai variable bebas dan tak bebas serta membuat asumsi-asumsi seperlunya untuk menyederhanakan fenomena sehingga membuatnya dapat ditelusuri secara matematika.
2. Menerapkan teori matematika yang telah diketahui pada model matematika yang telah dirumuskan guna mendapatkan kesimpulan matematikanya.
3. Mengambil kesimpulan matematika tersebut dan menafsirkannya sebagai informasi yang berkaitan dengan permasalahan yang dimodelkan dengan cara memberikan penjelasan atau membuat perkiraan.
4. Menguji perkiraan terhadap data riil. Jika perkiraan yang kita buat tidak sebanding dengan kenyataan, maka model yang didapat perlu diperhalus atau merumuskan model baru dan memulai daur kembali. Bisa juga dengan memperbaiki asumsi-asumsi yang diberikan.
5. Pada pengujian perkiraan yang dilakukan jika telah sesuai pada kenyataan maka model dapat dilakukan atau dapat dikerjakan sesuai penelitian yang akan dilakukan.

2.3 Sistem Linier

Pada sub bab ini, dipaparkan mengenai landasan teori yang berkaitan dengan model sistem gedung bertingkat n .

2.3.1 Bentuk Sistem Linier

Dalam realisasi matriks ruang keadaan, sistem linear dapat didefinisikan sebagai berikut: [9].

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t)\end{aligned}\tag{2.3.1}$$

Dimana $x(t) \in \mathbb{R}^n$ adalah state, $y(t) \in \mathbb{R}^p$ merupakan vektor output, dan $u(t) \in \mathbb{R}^m$ adalah input kontrol. Matriks

$A_{n \times n}, B_{n \times m}, C_{p \times n}, D_{p \times n}$ merupakan matriks konstanta dengan D diasumsikan bernilai nol.

2.3.2 Kestabilan Sistem Linier

Definisi 2.1[10]

Suatu titik kesetimbangan \bar{x} pada sistem persamaan differensial $\dot{x} = f(x)$ dikatakan

- i. Stabil jika semua nilai eigen matriks Jacobian $J(f(\bar{x}))$ mempunyai bagian real negative.
- ii. Tidak stabil, jika semua nilai eigen matriks Jacobian $J(f(\bar{x}))$ mempunyai bagian real positif.
- iii. Pelana (saddle), jika titik ekuilibrium hiperbolik dan terdapat nilai eigen matriks jacobian $J(f(\bar{x}))$ mempunyai bagian real positif dan negatif.

2.3.3 Keterkontrolan Sistem Linier

Suatu sistem yang terkontrol sangat diperlukan dalam stabilitas sistem. Jika suatu sistem tidak terkontrol dapat mengakibatkan tidak didapatkannya hasil dalam sistem kontrol optimal. Pada pembahasan ini dilakukan keterkontrolan pada sistem gedung bertingkat n .

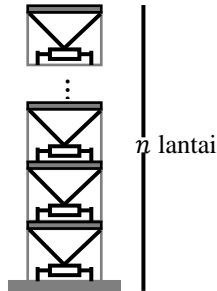
Teorema 2.1[10]

Syarat perlu dan cukup sistem terkontrol adalah: matriks $M_c = (B/AB/A^2B|\dots|A^{n-1}B)$ mempunyai rank yang sama dengan n .

Matriks M_c memiliki rank n artinya matriks tersebut merupakan matriks nonsingular yaitu determinannya tidak sama dengan nol.

2.4 Representasi Model Matematika dari Gedung Bertingkat n

Pada sistem gedung bertingkat yang digunakan pada Tugas Akhir ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.2[11].



Gambar 2.2 Ilustrasi sistem gedung bertingkat n

Pada Gambar 2.2 diilustrasikan gedung bertingkat n yang akan dilakukan pada penelitian ini. Permasalahan gedung bertingkat n merupakan permasalahan dalam dunia nyata yang dapat dirumuskan, sehingga rumus yang digunakan pada gedung bertingkat n dapat dirujuk pada Hukum II Newton.

$$\sum F = m \cdot a \quad (2.4.1)$$

dengan F , m , dan a masing – masing merupakan gaya, massa benda, dan percepatan benda dari gedung bertingkat n .

Maka penurunan dari Hukum II Newton pada gedung bertingkat n dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan diferensial orde dua yang dapat didefinisikan sebagai berikut[11]:

$$M\ddot{x}(t) + D\dot{x}(t) + Kx(t) = B_0u(t) \quad (2.4.2)$$

dengan M, D , dan K masing-masing adalah matriks dari massa, peredam, dan koefisien kekakuan pegas yang bekerja pada sistem. Variabel $x(t)$ menunjukkan vektor perpindahan antar *storey*, dan u adalah vektor kontrol gaya. Matriks B_0 merepresentasikan lokasi dari kontrol gaya. Diasumsikan bahwa M memiliki invers, maka Persamaan (2.4.2) dapat dituliskan kembali sebagai.

$$\ddot{x}(t) + M^{-1}D\dot{x}(t) + M^{-1}Kx(t) = M^{-1}B_0u(t) \quad (2.4.3)$$

dengan variable $x(t)$ merepresentasikan perpindahan pada antar *storey* dan $\dot{x}(t)$ merupakan kecepatan relatif antar *storey*.

2.5 Metode Linear Quadratic Regulator (LQR)

Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) merupakan salah satu metode perancangan sistem kendali optimal dengan menggunakan Persamaan (2.3.1). Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) digunakan dalam mencari gain regulator sesuai dalam Persamaan (2.3.1). Hal tersebut dapat dicari dengan meminimalkan *cost function* berikut:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [y^T(t)Qy(t) + u^T(t)Ru(t)]dt, \quad (2.5.1)$$

dengan Q dan R merupakan matriks pembobotan dengan Q adalah matriks simetris, semi-definit positif dan R adalah matriks simetris, definit positif.

Berikut ini merupakan langkah - langkah dalam mendapatkan kontrol optimal dengan metode *Linear Quadratic Regulator(LQR)*[12].

1. Mengkonstruksi Q sebagai matriks simetri semi definit positif dan R sebagai matriks simetri definit positif
2. Menyelesaikan Persamaan Aljabar *Riccati*:

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (2.5.2)$$

hingga memperoleh P .

3. Mencari K untuk kontrol optimal pada $u = -Kx$ dengan menggunakan

$$u = -(R^{-1}B^T P)x = -Kx \quad (2.5.3)$$

sehingga didapatkan

$$K = R^{-1}B^T P \quad (2.5.4)$$

4. Didapatkan kontrol optimal u pada

$$u = -Kx \quad (2.5.5)$$

dengan K yang telah didapatkan pada Persamaan (2.5.4)

5. Maka diperoleh performansi indeks yang optimal yaitu pada Persamaan (2.5.1)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dipaparkan mengenai tahapan-tahapan yang digunakan dalam penelitian ini sekaligus sebagai panduan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Langkah-langkah yang diambil dalam penulisan penelitian ini adalah:

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dicari referensi pada jurnal - jurnal yang berkaitan dengan pemodelan sistem gedung bertingkat. Referensi yang dicari meliputi pengertian pemodelan matematika, tahapan pemodelan matematika, kontrol dengan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR), dan hal lain yang berhubungan dengan penelitian ini. Selain itu, studi literatur dapat diperoleh melalui buku teks yang berkaitan dengan sistem gedung bertingkat.

2. Model Matematika

Pada tahap ini dibentuk pemodelan matematika dari sistem gedung bertingkat n . Model yang didapatkan disebut sebagai sistem awal. Sistem awal didapatkan dari persamaan diferensial. Persamaan diferensial tersebut dilakukan identifikasi linear atau non linear. Persamaan tersebut dapat direpresentasikan dalam bentuk *State Space*.

3. Tahap Simulasi

Pada tahap ini dilakukan simulasi analisis sifat sistem model gedung bertingkat n . Selain itu dilakukan desain kontrol optimal sistem dengan menggunakan Metode *Linear*

Quadratic Regulator (LQR). Selanjutnya dilakukan perbandingan antara sistem awal dengan sistem yang terkontrol optimal. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB R2013a.

4. Analisis Sistem

Pada bagian ini, diketahui sifat – sifat dari sistem gedung bertingkat n . Sifat – sifat yang diketahui yaitu kestabilan sistem dan keterkontrolan sistem. Ketika sistem tidak stabil dan tidak terkontrol maka tetap akan dilanjutkan untuk kontrol dengan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) untuk mencapai kestabilan dan keterkontrolan. Dan untuk sistem yang sudah stabil dan terkontrol tetap akan dilakukan kontrol dengan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) agar lebih stabil dan terkontrol.

5. Desain Kontrol dengan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR)

Pada bagian ini, dilakukan desain kontrol gedung bertingkat n dengan menggunakan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR). Desain kontrol didapatkan dari kontrol optimal dari sistem. Kontrol optimal yang didapatkan dipasangkan ke sistem awal. Setelah itu didapatkan sistem dengan kontrol.

6. Penarikan kesimpulan

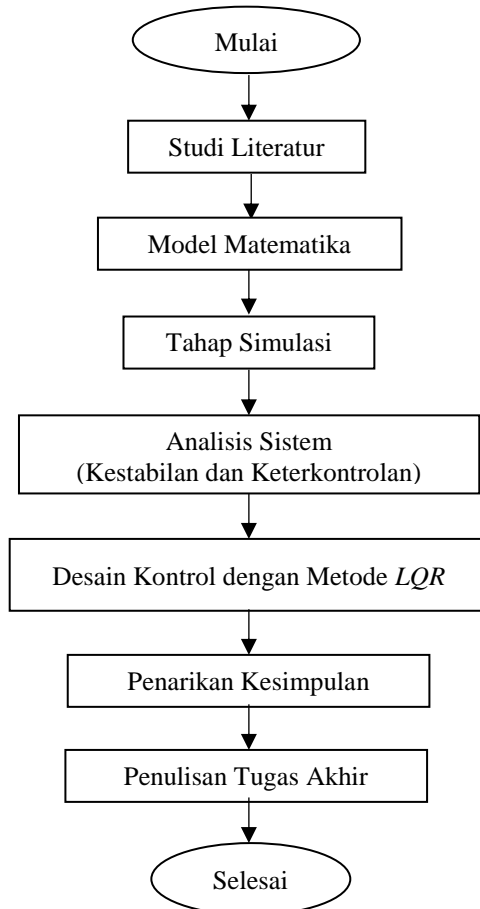
Pada tahap ini dapat di tarik kesimpulan model sistem gedung bertingkat n yang dilihat dari hasil performansi grafik pada tahap simulasi.

7. Penulisan Tugas Akhir

Tahap akhir dari Tugas Akhir setelah mendapat hasil akhir yang diinginkan, kemudian akan dibuat laporan akhir dari pengerjaan Tugas Akhir.

3.2 Diagram Alur

Berdasarkan tahapan – tahapan diatas, dapat dibentuk alur dalam mendapatkan model gedung bertingkat n seperti pada Gambar 3.1 berikut:



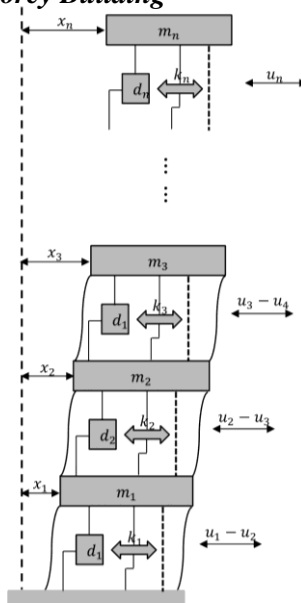
Gambar 3. 1 Diagram Alur

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini diberikan bagaimana pemodelan gedung bertingkat n . Selanjutnya ditentukan kendali optimal pada model gedung bertingkat n . Sebelum menentukan kendali optimal, dibahas juga analisis sistem. Analisis sistem meliputi analisis kestabilan, dan keterkontrolan. Selanjutnya dilakukan penyelesaian kendali optimal dari sistem menggunakan metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR), kemudian disimulasikan dengan Software MATLAB.

4.1 Model Sistem *Storey Building*



Gambar 4.1 Model Sistem Multi Mass Damping Spring pada gedung bertingkat

Pada Gambar 4.1 ilustrasi pemodelan sistem gedung bertingkat n disajikan pada Persamaan (2.4.2) ke dalam bentuk matriks dengan mengadopsi model dari *Mass Damper Spring* (MDS)[4].

Berdasarkan Gambar 4.1, dinotasikan m_i sebagai massa, d_i sebagai peredam, dan k_i sebagai kekakuan pegas dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$ lantai gedung bertingkat. Dapat ditentukan model di masing – masing lantai pada gedung bertingkat n . Pada setiap lantai memiliki model rangkaian yang sama dengan model sistem *Mass Damper Spring*(MDS)[5]. Dengan u merupakan kontrol yang didefinisikan sebagai kontrol kekuatan antar lantai pada gedung bertingkat.

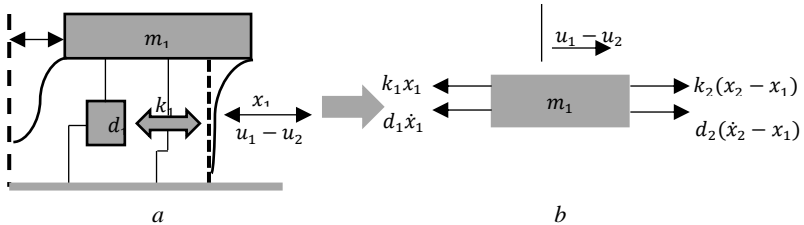
Struktur setiap lantai pada gedung bertingkat n , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, pada kontrol gaya yang akan dilakukan kontrol pada lantai bawah dipengaruhi oleh lantai selanjutnya maka dapat dijabarkan kontrol gaya pada masing – masing lantai sebagai berikut[7]:

- i. Kontrol gaya pada lantai 1 adalah $u_1 - u_2$.
- ii. Kontrol gaya pada lantai 2 adalah $u_2 - u_3$.
- iii. Kontrol gaya pada lantai 3 adalah $u_3 - u_4$.
- iv. Kontrol gaya pada lantai i adalah $u_i - u_{i+1}$.
- v. Kontrol gaya pada lantai n adalah u_n .

Pada lantai n (paling atas), kontrol gaya tidak dipengaruhi oleh lantai yang dibawahnya.

Selanjutnya diturunkan pemodelan pada masing – masing lantai sebagai berikut:

1. Diamati lantai 1, maka dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.2 sebagai berikut:



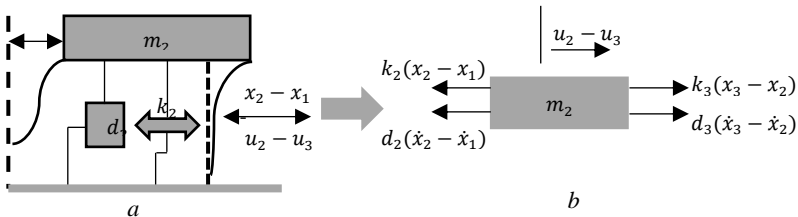
Gambar 4.2 Sistem storey building pada lantai 1 (a) dan ilustrasi sistem lantai 1 dengan sistem MDS (b)

Pada Gambar 4.2 dilakukan ilustrasi sistem gedung lantai 1 dan sistem gedung lantai 1 dengan sistem MDS. Didapatkan massa, peredam, dan kekakuan pegas yang telah ditentukan berdasarkan tata letaknya.

Berdasarkan Hukum II Newton, maka dari Gambar 4.2 dapat diturunkan sebuah persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= m_1 \ddot{x}_1 \\
 u_1 - u_2 + k_2(x_2 - x_1) + d_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_1x_1 - d_1\dot{x}_1 \\
 &= m_1 \ddot{x}_1 \\
 u_1 - u_2 + k_2x_2 - k_2x_1 + d_2\dot{x}_2 - d_2\dot{x}_1 - k_1x_1 - d_1\dot{x}_1 \\
 &= m_1 \ddot{x}_1 \\
 m_1 \ddot{x}_1 + (d_1 + d_2)\dot{x}_1 - d_2\dot{x}_2 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2x_2 &= \\
 u_1 - u_2 &
 \end{aligned}
 \tag{4.1.1}$$

2. Diamati lantai 2, maka dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.3 sebagai berikut:



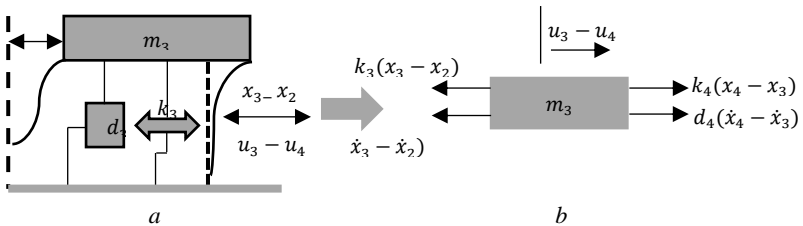
Gambar 4.3 Sistem storey building pada lantai 2 (a) dan ilustrasi sistem lantai 2 dengan sistem MDS (b)

Pada Gambar 4.3 dilakukan ilustrasi sistem gedung lantai 2 dan sistem gedung lantai 2 dengan sistem MDS. Didapatkan massa, peredam, dan kekakuan pegas yang telah ditentukan berdasarkan tata letaknya.

Berdasarkan Hukum II Newton, maka dari Gambar 4.3 dapat diturunkan sebuah persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_2 &= m_2 \ddot{x}_2 \\
 u_2 - u_3 + k_3(x_3 - x_2) + d_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - k_2(x_1 - x_2) \\
 &\quad - d_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = m_2 \ddot{x}_2 \\
 u_2 - u_3 + k_3 x_3 - k_3 x_2 + d_3 \dot{x}_3 - d_3 \dot{x}_2 - k_2 x_2 + k_2 x_1 \\
 &\quad - d_2 \dot{x}_2 + d_2 \dot{x}_1 = m_2 \ddot{x}_2 \\
 m_2 \ddot{x}_2 - d_2 \dot{x}_1 + (d_2 + d_3) \dot{x}_2 - d_3 \dot{x}_3 - k_2 x_1 + (k_1 + k_2) x_2 \\
 &\quad - k_3 x_3 = u_2 - u_3
 \end{aligned} \tag{4.1.2}$$

3. Diamati lantai 3, maka dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.4 sebagai berikut:



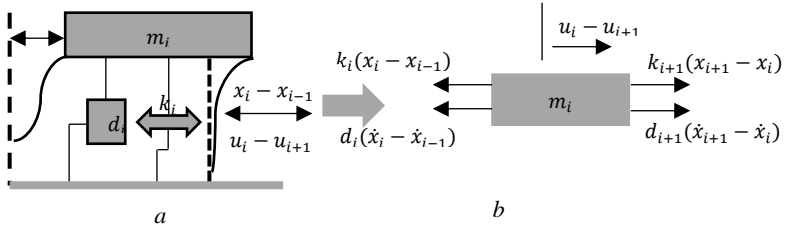
Gambar 4.4 Sistem storey building pada lantai 3 (a) dan ilustrasi sistem lantai 3 dengan sistem MDS (b)

Pada Gambar 4.4 dilakukan ilustrasi sistem gedung lantai 3 dan sistem gedung lantai 3 dengan sistem MDS. Didapatkan massa, peredam, dan kekakuan pegas yang telah ditentukan berdasarkan tata letaknya.

Berdasarkan Hukum II Newton, maka dari Gambar 4.4 dapat diturunkan sebuah persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_3 &= m_3 \ddot{x}_3 \\
 u_3 - u_4 + k_4(x_4 - x_3) + d_4(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) - k_3(x_3 - x_2) \\
 &\quad - d_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) = m_3 \ddot{x}_3 \\
 u_3 - u_4 + k_4 x_4 - k_4 x_3 + d_4 \dot{x}_4 - d_4 \dot{x}_3 - k_3 x_3 + k_3 x_2 \\
 &\quad - d_3 \dot{x}_3 + d_3 \dot{x}_2 = m_3 \ddot{x}_3 \\
 m_3 \ddot{x}_3 - d_3 \dot{x}_2 + (d_3 + d_4) \dot{x}_3 - d_4 \dot{x}_4 - k_3 x_2 + (k_3 + \\
 k_4) x_3 - k_4 x_4 &= u_3 - u_4
 \end{aligned} \tag{4.1.3}$$

4. Diamati lantai i , maka dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.5 sebagai berikut:



Gambar 4.5 Sistem storey building pada lantai i (a) dan ilustrasi sistem lantai i dengan sistem MDS (b)

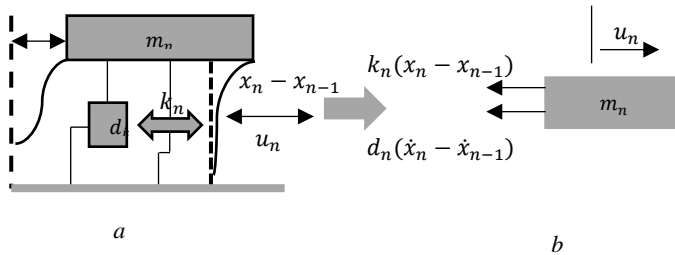
Pada Gambar 4.5 dilakukan ilustrasi sistem gedung lantai i dan sistem gedung lantai i dengan sistem MDS. Didapatkan massa, peredam, dan kekakuan pegas yang telah ditentukan berdasarkan tata letaknya.

Berdasarkan Hukum II Newton, maka dari Gambar 4.5 dapat diturunkan sebuah persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_i &= m_i \ddot{x}_i \\
 u_i - u_{i+1} + k_{i+1}(x_{i+1} - x_i) + d_{i+1}(\dot{x}_{i+1} - \dot{x}_i) \\
 &\quad - k_i(x_i - x_{i-1}) - d_i(\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) = m_i \ddot{x}_i \\
 u_i - u_{i+1} + k_{i+1}x_{i+1} - k_{i+1}x_i + d_{i+1}\dot{x}_{i+1} - d_{i+1}\dot{x}_i - k_ix_i \\
 &\quad + k_ix_{i-1} - d_i\dot{x}_i + d_i\dot{x}_{i-1} = m_i \ddot{x}_i \\
 m_i \ddot{x}_i - d_i\dot{x}_{i-1} + (d_i + d_{i+1})\dot{x}_i - d_{i+1}\dot{x}_{i+1} - k_ix_{i-1} + \\
 (k_i + k_{i+1})x_i - k_{i+1}x_{i+1} &= u_i - u_{i+1}
 \end{aligned}
 \tag{4.1.4}$$

dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n - 1$

5. Diamati lantai n , maka dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.6 sebagai berikut:



Gambar 4.6 Sistem storey building pada lantai n (a) dan ilustrasi sistem lantai n dengan sistem MDS (b)

Pada Gambar 4.6 dilakukan ilustrasi sistem gedung lantai n dan sistem gedung lantai n dengan sistem MDS. Didapatkan massa, peredam, dan kekakuan pegas yang telah ditentukan berdasarkan tata letaknya.

Berdasarkan Hukum II Newton, maka dari Gambar 4.6 dapat diturunkan sebuah persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_n &= m_n \ddot{x}_n \\
 u_n - k_n(x_n - x_{n-1}) - d_n(\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1}) &= m_n \ddot{x}_n \\
 u_n - k_n x_n + k_n x_{n-1} - d_n \dot{x}_n + d_n \dot{x}_{n-1} &= m_{n-1} \ddot{x}_{n-1} \\
 m_n \ddot{x}_n - d_n \dot{x}_{n-1} + d_n \dot{x}_n - k_n x_{n-1} + k_n x_n &= u_n
 \end{aligned} \tag{4.1.5}$$

Berdasarkan Persamaan (4.1.1) – (4.1.5) dapat dibentuk ke dalam Persamaan (2.4.2), dengan M merupakan matriks massa, D merupakan matriks peredam, dan K merupakan matriks kekakuan pegas. Masing – masing matriks M , D , dan K dapat ditulis sebagai berikut:

$$M_{n \times n} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & m_i & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & m_n \end{bmatrix}$$

(4.1.6)

$$D_{n \times n} = \begin{bmatrix} d_1 + d_2 & -d_2 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ -d_2 & d_2 + d_3 & -d_3 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & -d_3 & d_3 + d_4 & \ddots & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & -d_n \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & -d_n & d_n \end{bmatrix} \quad (4.1.7)$$

$$K_{n \times n} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & \ddots & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & -k_n \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & -k_n & k_n \end{bmatrix} \quad (4.1.8)$$

Diketahui matriks B_0 adalah matriks lokasi dari kontrol gaya, yang dapat dituliskan sebagai berikut[5]:

$$B_{0n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & \cdots & 0 \\ \vdots & 0 & 0 & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1.9)$$

Untuk mempermudah dalam simulasi, pada Persamaan (2.4.2) dapat dilakukan penurunan menjadi persamaan diferensial orde satu. Misalkan,

$$\begin{aligned} X &= x_i \\ \dot{X} &= \dot{x}_i \end{aligned} \quad (4.1.10)$$

x_i merupakan posisi pergeseran gedung pada lantai ke $-i$ dan \dot{x}_i merupakan kecepatan pergeseran pada lantai ke- i dengan $i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n$.

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad \dot{X} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \vdots \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} \quad (4.1.11)$$

Diasumsikan M memiliki invers, maka dengan substitusi Persamaan (4.1.10) ke dalam Persamaan (2.4.3), didapatkan:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= \dot{X} \\ \ddot{X} &= -M^{-1}KX - M^{-1}D\dot{X} + M^{-1}B_0u \end{aligned} \quad (4.1.12)$$

Sehingga dapat dibentuk persamaan matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \ddot{X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}B_0 \end{bmatrix} u \quad (4.1.13)$$

dengan $u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$, u_i merupakan kontrol pada kecepatan gedung

pada lantai ke- i dengan $i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n$.

Ukuran matriks yang digunakan pada tahap simulasi adalah berukuran $2n \times 2n$ dengan n adalah total *state*. Dapat dituliskan kembali Persamaan (4.1.13) sebagai,

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (4.1.14)$$

dengan $A \in R^{2nx2n}$, $B \in R^{2nxm}$ masing – masing adalah sistem, dan matriks kontrol. Pada Persamaan (4.1.13) dapat dituliskan dengan A , dan B sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}D \end{bmatrix} \text{ dan } B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}B_0 \end{bmatrix} \quad (4.1.15)$$

Sedangkan keluaran (*output*) dari model sistem gedung bertingkat ini adalah sebagai berikut:

$$y = Cx \quad (4.1.16)$$

dengan y merupakan kecepatan gedung antar lantai. Maka C didapatkan sebagai berikut[11]:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1.17)$$

4.2 Simulasi

Selanjutnya untuk menganalisa dan merancang desain kontrol pada model sistem gedung bertingkat n dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi. Sebagai data simulasi maka diberikan data gedung bertingkat 5 sebagai berikut.

Pada gedung bertingkat 5 memiliki parameter massa, peredam, dan kekakuan pegas yang masing – masing parameter M , D , dan K disajikan pada Tabel 4.1[11]:

Tabel 4.1 Bangunan Kajima Shizuoka 5 lantai

Lantai ke-	Massa(M)	Koefisien Peredam	Lantai yang terhubung	Kekakuan (K)
5	$266,1 \times 10^3$	$171,8 \times 10^3$	4 – 5	84×10^6
4	$204,8 \times 10^3$	$182,0 \times 10^3$	3 – 4	89×10^6
3	$207,0 \times 10^3$	$202,5 \times 10^3$	2 – 3	99×10^6
2	$209,2 \times 10^3$	$231,1 \times 10^3$	1 – 2	113×10^6
1	$215,2 \times 10^3$	$419,3 \times 10^3$	0 – 1	147×10^6

Tabel 4.1 merupakan data bangunan Kajima Shizuoka 5 lantai dengan diketahui nilai dari massa, koefisien peredam, dan kekakuan pegas pada masing – masing lantai.

Satuan massa dalam Kg , koefisien peredam dalam Kg/m , dan koefisien kekakuan pegas dalam N/m .

4.2.1 Analisa Sifat Sistem

Berdasarkan tabel 4.1 dapat dilakukan analisa sifat pada model sistem. Pertama disubstitusikan parameter pada Tabel 4.1 ke dalam Persamaan (4.1.6) – (4.1.8), dan didapatkan matriks M , D , dan K sebagai berikut:

$$M = 10^3 x \begin{bmatrix} 215.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 209.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 207.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 204.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 266.1 \end{bmatrix}$$

$$D = 10^3 x \begin{bmatrix} 650.4 & -231.1 & 0 & 0 & 0 \\ -231.1 & 433.6 & -202.5 & 0 & 0 \\ 0 & -202.5 & 384.5 & -182 & 0 \\ 0 & 0 & -182 & 353.8 & -171.8 \\ 0 & 0 & 0 & -171.8 & 171.8 \end{bmatrix}$$

$$K = 10^6 x \begin{bmatrix} 260 & -113 & 0 & 0 & 0 \\ -113 & 212 & -99 & 0 & 0 \\ 0 & -99 & 188 & -89 & 0 \\ 0 & 0 & -89 & 173 & -84 \\ 0 & 0 & 0 & -84 & 84 \end{bmatrix}$$

Pada bagian ini dilakukan substitusi parameter dari matriks M, D , dan K pada bangunan Bangunan Kajima Shizuoka 5 lantai ke dalam Persamaan (4.1.15), Sehingga didapatkan matriks A , dan B sebagai berikut:

$$A_{10 \times 10} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ -1208.2 & 525.09 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 540.15 & -1013.4 & 473.23 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 478.26 & -908.21 & 429.95 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 434.57 & -844.73 & 410.16 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 315.67 & -315.67 & \dots \end{bmatrix} \quad (4.2.1)$$

$$B = 10^{-5} x \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4.6468 & -4.6468 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4.7801 & -4.7801 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4.8309 & -4.8309 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4.8828 & -4.8828 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3.7580 \end{bmatrix} \quad (4.2.2)$$

Matriks C didapatkan dari Persamaan (4.1.17) dengan gedung bertingkat 5, sebagai berikut:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2.3)$$

Berdasarkan matriks A , B , dan C yang telah diperoleh maka dapat dihitung nilai eigen sistem dengan menggunakan MATLAB seperti yang disajikan pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Nilai Eigen Sistem Awal

Nilai eigen
$-1.9427 + 42.513i$
$-1.9427 - 42.513i$
$-1.4337 + 36.398i$
$-1.4337 - 36.398i$
$-0.88569 + 28.216i$
$-0.88569 - 28.216i$
$-0.35557 + 17.744i$
$-0.35557 - 17.744i$
$-0.045071 + 6.3346i$
$-0.045071 - 6.3346i$

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa semua nilai eigen mempunyai bagian riil yang negatif. Berdasarkan *Definisi 2.1* dapat dikatakan bahwa sistem awal stabil asimptotik.

Selanjutnya dilakukan analisa keterkontrolan sistem awal dengan matriks A , B , dan C yang telah diperoleh pada Persamaan (4.2.1 – 4.2.3). Berdasarkan sistem awal dapat dicari nilai Mc sistem dengan menggunakan MATLAB. Dengan menggunakan

MATLAB didapatkan $Rank M_c = 10$. Maka dapat disimpulkan bahwa sistem awal dalam simulasi ini terkontrol.

4.2.2 Desain Kontrol

Pada sub bab ini dilakukan simulasi pada model sistem gedung bertingkat 5 sebelum dilakukan kontrol dan model sistem gedung bertingkat 5 setelah dilakukan kontrol optimal dengan menggunakan software MATLAB berdasarkan data yang telah ada.

Sebelum melakukan kontrol optimal pada model sistem gedung bertingkat ini, dilakukan terlebih dahulu pencarian matriks Q_c dan R_c menggunakan software MATLAB dengan cara *trial and error* sehingga diperoleh matriks Q_c dan R_c yang membuat sistem yang optimal. Q_c adalah matriks simetris dengan ukuran yang sesuai berdasarkan besar matriks baris C , semi-definit positif dan R_c adalah matriks simetris, definit positif yang sesuai berdasarkan besar nilai input matriks u . Maka didapatkan matriks Q_c dan R_c sebagai berikut:

$$Q_c = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & -2 & 2 \\ 1 & 2 & 1 & -2 & 3 \\ -1 & 1 & 6 & 3 & 1 \\ -2 & -2 & 3 & 6 & -4 \\ 2 & 3 & 1 & -4 & 7 \end{pmatrix}$$

dan

$$R_c = \begin{pmatrix} 0.22 & 0.13 & 0.1 & 0 & 0.02 \\ 0.13 & 0.14 & 0.01 & 0.08 & 0.03 \\ 0.1 & 0.01 & 0.11 & 0 & 0.02 \\ 0 & 0.08 & 0 & 0.29 & 0.01 \\ 0.02 & 0.03 & 0.02 & 0.01 & 0.23 \end{pmatrix}$$

selanjutnya didapat nilai P_c menggunakan Persamaan Ricatti dengan bantuan MATLAB, diperoleh:

$$P_{C_{10 \times 10}} = \begin{pmatrix} 918.8429 & 13.4626 & -141.2287 & -94.7952 & 13.2648 & \dots \\ 13.4626 & 744.7490 & -28.1408 & -111.7907 & -116.5884 & \dots \\ -141.2287 & -28.1408 & 748.3382 & 47.6334 & -308.4988 & \dots \\ -94.7952 & -111.7907 & 47.6334 & 488.1452 & -83.4841 & \dots \\ 13.2648 & -116.5884 & -308.4988 & -83.4841 & 826.3249 & \dots \\ 1.0853 & -0.9041 & -2.7391 & 3.1428 & -0.5784 & \dots \\ 2.0508 & 1.7924 & -4.1164 & -3.1581 & 4.4391 & \dots \\ -0.1992 & 4.1488 & -1.5836 & -0.3822 & -0.8376 & \dots \\ -2.9456 & 2.8849 & 0.5911 & 0.7489 & -1.9539 & \dots \\ 0.4331 & -4.6312 & 4.1721 & 2.0968 & -2.5388 & \dots \end{pmatrix}$$

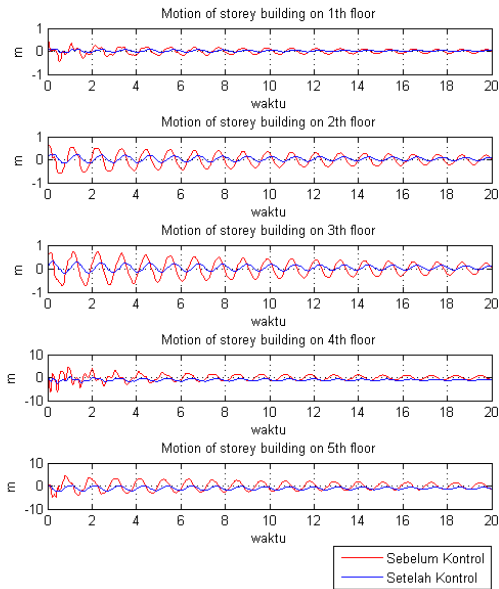
sehingga didapat nilai gain regulator adalah

$$K_{C_{5 \times 10}} = 10^{-4} x \begin{pmatrix} 0.0047 & -0.0223 & -0.0075 & 0.0255 & -0.0058 & \dots \\ -0.0049 & 0.0238 & 0.0079 & -0.0272 & 0.0064 & \dots \\ -0.0041 & 0.0187 & 0.0064 & -0.0211 & 0.0046 & \dots \\ 0.0013 & -0.0065 & -0.0021 & 0.0074 & -0.0018 & \dots \\ 0.0006 & -0.0026 & -0.0008 & 0.0029 & -0.0007 & \dots \end{pmatrix}$$

dengan menggunakan metode LQR didapatkan suatu kontrol optimal sebai berikut:

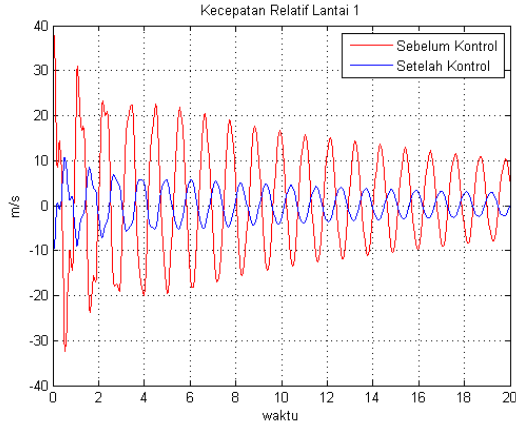
$$u = -10^{-4} x \begin{pmatrix} -0.033359 \\ 0.034499 \\ 0.025177 \\ -0.009356 \\ -0.003464 \end{pmatrix}$$

Hasil simulasi pada model sistem gedung bertingkat sebelum dilakukan kontrol dan model sistem gedung bertingkat setelah dilakukan kontrol optimal untuk masing – masing lantai disajikan pada Gambar berikut:



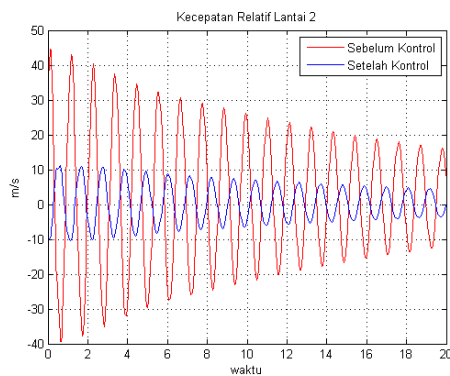
Gambar 4.7 Pergeseran posisi pada bangunan 5 lantai

Gambar 4.7 terlihat bahwa pergeseran posisi model sistem gedung bertingkat 5 lantai setelah diberi kontrol lebih cepat mencapai kestabilannya dibandingkan sistem awal atau sistem tanpa kontrol. Pergeseran posisi sistem setelah kontrol lebih cepat mencapai nilai nol dibandingkan sistem awal atau sistem sebelum kontrol. Maka dapat dilihat bahwa kontrol optimal dengan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR) berfungsi cukup baik dalam mengendalikan pergeseran posisi model sistem gedung bertingkat 5.



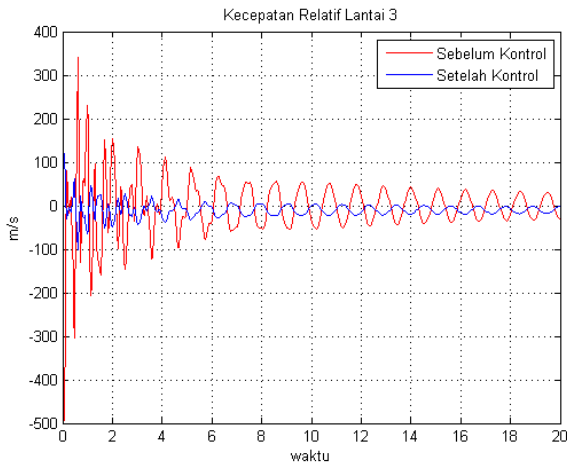
Gambar 4.8 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 1

Gambar 4.8 terlihat bahwa kecepatan relatif model sistem gedung bertingkat lantai 1 setelah diberi kontrol lebih cepat mencapai kestabilannya dibandingkan sistem awal atau sistem tanpa kontrol. Kecepatan relatif sistem setelah kontrol lebih cepat mencapai nilai nol dibandingkan sistem awal atau sistem sebelum kontrol. Maka dapat dilihat bahwa kontrol optimal dengan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR) berfungsi cukup baik dalam mengendalikan kecepatan relatif lantai 1.



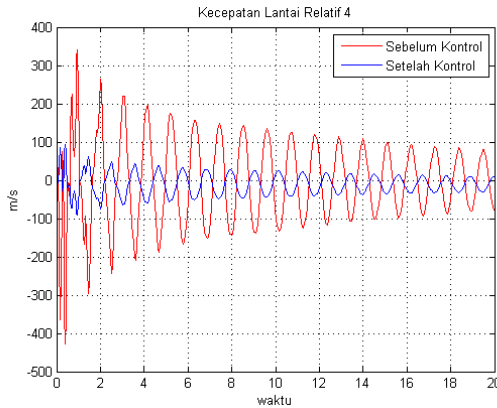
Gambar 4.9 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 2

Gambar 4.9 terlihat bahwa kecepatan relatif model sistem gedung bertingkat lantai 2 setelah diberi kontrol lebih cepat mencapai kestabilannya dibandingkan sistem awal atau sistem tanpa kontrol. Kecepatan relatif sistem setelah kontrol lebih cepat mencapai nilai nol dibandingkan sistem awal atau sistem sebelum kontrol. Maka dapat dilihat bahwa kontrol optimal dengan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR) berfungsi cukup baik dalam mengendalikan kecepatan relatif lantai 2.



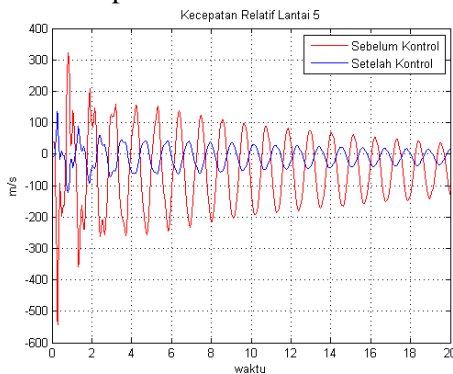
Gambar 4.10 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 3

Gambar 4.10 terlihat bahwa kecepatan relatif model sistem gedung bertingkat lantai 3 setelah diberi kontrol lebih cepat mencapai kestabilannya dibandingkan sistem awal atau sistem tanpa kontrol. Kecepatan relatif sistem setelah kontrol lebih cepat mencapai nilai nol dibandingkan sistem awal atau sistem sebelum kontrol. Maka dapat dilihat bahwa kontrol optimal dengan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR) berfungsi cukup baik dalam mengendalikan kecepatan relatif lantai 3.



Gambar 4.11 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 4

Gambar 4.11 terlihat bahwa kecepatan relatif model sistem gedung bertingkat lantai 4 setelah diberi kontrol lebih cepat mencapai kestabilannya dibandingkan sistem awal atau sistem tanpa kontrol. Kecepatan relatif sistem setelah kontrol lebih cepat mencapai nilai nol dibandingkan sistem awal atau sistem sebelum kontrol. Maka dapat dilihat bahwa kontrol optimal dengan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR) berfungsi cukup baik dalam mengendalikan kecepatan relatif lantai 4.



Gambar 4.12 Kecepatan relatif pergerakan tanah pada lantai 5

Gambar 4.12 terlihat bahwa kecepatan relatif model sistem gedung bertingkat lantai 5 setelah diberi kontrol lebih cepat mencapai kestabilannya dibandingkan sistem awal atau sistem tanpa kontrol. Kecepatan relatif sistem setelah kontrol lebih cepat mencapai nilai nol dibandingkan sistem awal atau sistem sebelum kontrol. Maka dapat dilihat bahwa kontrol optimal dengan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR) berfungsi cukup baik dalam mengendalikan kecepatan relatif lantai 5.

Berdasarkan Gambar 4.7 – Gambar 4.12, grafik dengan warna merah merupakan hasil dari catatan pergerakan sistem awal atau sistem tanpa kontrol, dan grafik dengan warna biru merupakan hasil dari catatan pergerakan sistem dengan kontrol optimal menggunakan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR). Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem dengan kontrol optimal memiliki performansi lebih baik dibandingkan dengan sistem awal atau sistem tanpa kontrol.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini diberikan kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan dari penelitian ini.

5.1 Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Didapatkan hasil nilai eigen dari model sistem awal yang memiliki bagian riil yang negatif, maka dapat disimpulkan bahwa model sistem awal atau model sistem tanpa kontrol merupakan model sistem gedung bertingkat n yang stabil asimptotik. Dan dengan menggunakan MATLAB didapatkan $Rank M_c = 10$, maka dapat disimpulkan bahwa model sistem awal gedung bertingkat n merupakan model sistem yang terkontrol.
2. Untuk mendapatkan hasil kontrol yang optimal dalam model sistem gedung bertingkat didapatkan menggunakan Metode *Linear Quadratic Regulator*(LQR) dengan matriks bobot keadaan Q_c , matriks bobot kontrol R_c , dan gain regulator K_c yang telah diketahui. Maka didapatkan suatu kontrol optimal

$$u = -10^{-4}x \begin{pmatrix} -0.033359 \\ 0.034499 \\ 0.025177 \\ -0.009356 \\ -0.003464 \end{pmatrix}$$

3. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa model sistem gedung bertingkat n dengan kontrol optimal menggunakan Metode *Linear Quadratic Regulator*(LQR) memiliki

performansi yang lebih baik daripada sistem tanpa kontrol. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh grafik pada pada hasil simulasi dimana sistem dengan kontrol optimal memiliki puncak yang lebih rendah daripada sistem tanpa awal atau sistem tanpa kontrol. Maka sistem dengan kontrol optimal dapat dikatakan bekerja dengan baik.

5.2 Saran

Adapun saran dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Pada penelitian yang saya lakukan model gedung bertingkat n didapatkan dari penurunan Hukum II Newton dengan hasil akhir model matematika berbentuk *state space*, pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan model yang berbeda.
2. Pada penelitian yang telah saya lakukan model gedung bertingkat n yang telah ada akan dilakukan kontrol optimal dengan menggunakan Metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR), pada penelitian berikutnya dapat diterapkan metode lain dalam penyelesaian kendali optimalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik (2019). “Proyeksi Penduduk Indonesia 2015-2045 Berdasarkan Hasil SUPAS 2015”. Badan Pusat Statistik. [diakses pada 23 Januari 2020].
- [2] Gumelar, G. (2018). “Daerah Rawan Gempa Meningkat, Bangunan Harus SNI”. CNN Indonesia. [diakses pada 25 Januari 2020].
- [3] Hadimaster (2012). “Model dan Pemodelan Matematika”. Mathematics Mind. [diakses pada 1 Februari 2020].
- [4] Mesbahi, J., dan Malek, A. (2015). “*Synchronized Control for Five-Story Building under Earthquake Loads*”. Hindawi Publishing Corporation.
- [5] Yang, W. J. dkk. (2009). “*Decentralized H_∞ controller design for large-scale civil structures*”. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 37: 565-572.
- [6] Daraghmeh, A.F.S. (2016). “*Model Order Reduction of Linear Control System: Comparison of Balance Truncation and Singular Perturbation Approximation with Application to Optimal Control*”. Fachbereich Mathematic & Informatic der Freien Universitat Berlin.
- [7] Fadhillah, H.N. (2019). “Desain Sentralisasi dan Desentralisasi Kontrol H_∞ Dengan Pendekatan Linear Matrix Inequality”. Program Magister Departemen Matematika Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Theodore (2016). “Pemodelan Matematika”. Sekretariat Himatika UGM. [diakses pada 17 Februari 2020].
- [9] Williams II, R.L., dan Lawrence, D.A. (2007). “*Linear State-Space Control Systems*”. John Wiley and Sons, Inc.
- [10] Subiono (2013). “Sistem Linier dan Kontrol Optimal”. Jurusan Matematika FMIPA-ITS Surabaya.
- [11] Rubio-Massegu, J. dkk. (2012). “*Decentralized static output feedback H_1 controller design for buildings under seismic*

excitation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics”, 41:1199-1205.

- [12] Robbani, M.S.F. (2019). “Desain Kontrol *Linear Quadratic Regulator(LQR)* pada Model Tereduksi: Studi Kasus Konduksi Panas”. Departemen Matematika FMKSD-ITS Surabaya.

Lampiran A

Source code

```

clc;
clear;

n=input('masukan jumlah lantai: ');
M_ne=zeros(n,n);
for i=1:n
    ab=fprintf(1,'masukkan massa lantai ke-%d', i);
    m(i)=input(': ');
    M_ne(i,i)=m(i);
end
M=M_ne;
fprintf('jadi diperoleh matriks massa sebagai berikut \n')
disp(M)

D_ne=zeros(n,n);
for i=1:n
    ad=fprintf(1,'masukkan nilai peredam pada lantai ke-%d', i);
    d(i)=input(': ');
end
for i=1:n-1
    D_ne(i,i)=(d(i)+d(i+1));
    D_ne(i,i+1)=-d(i+1);
    D_ne(i+1,i)=-d(i+1);
    for i=n
        D_ne(i,i)=d(n);
    end
end
D=D_ne;
fprintf('jadi diperoleh matriks D sebagai berikut \n')
disp(D)

K_ne=zeros(n,n);
for i=1:n

```

```

    ak=fprintf(1,'masukkan nilai koefisien kekakuan pegas pada
lantai ke-%d', i);
    k(i)=input(': ');
end
for i=1:n-1
    K_ne(i,i)=(k(i)+k(i+1));
    K_ne(i,i+1)=-k(i+1);
    K_ne(i+1,i)=-k(i+1);
    for i=n
        K_ne(i,i)=k(n);
    end
end
K=K_ne;
fprintf('jadi diperoleh matriks K sebagai berikut \n')
disp(K)

Bo=eye(n,n);
for i = 1:n-1
    Bo(i,i+1)=-1;
end
B_0=Bo

% Matriks A,B,C
A = [zeros(n,n) eye(n,n);
      -(inv(M))*(K) -(inv(M))*(D)]

B = [zeros(n,n);
      (inv(M))*(B_0)]

C=zeros(n,2*n); % Pada Kecepatan Relatif
for i = 1:n
    C(i,2*i)=1;
end
C=C

%C=zeros(n,2*n); %Pada Pergeseran Posisi

```

```

%for i = 1:n
% C(i,(2*i)-1)=1;
%end
%C=C

% Kestabilan Sistem
Eigen =eig(A)
Tidak_Stabil = 0;
Stabil = 0;
Stabil_Asimptotik = 0;
n = size(A);
for i = 1:n
    if real(Eigen(i)) > 0
        Tidak_Stabil = Tidak_Stabil+1;
    end
    if real(Eigen(i)) < 0
        Stabil_Asimptotik = Stabil_Asimptotik+1;
    end
    if real(Eigen(i)) == 0
        Stabil = Stabil+1;
    end
end
Stabil=Stabil+Stabil_Asimptotik;
Tidak_Stabil;
Stabil;
if Stabil == n
    disp('Maka Sistem Stabil Asimptotik')
else
    disp('Maka Sistem Tidak Stabil')
end

% Keterkontrolan Sistem
RankA=rank(A)
Mc=ctrb(A,B)
RankMc=rank(Mc)
if rank(A)==rank(Mc)

```

```

fprintf('Karena Rank A = Rank Mc = %.0f\n',RankMc);
fprintf('Maka Sistem terkontrol\n');
else
    fprintf('Karena Rank A tidak sama dengan rank Mc\n');
    fprintf('Maka Sistem tidak terkontrol\n');
end

% gain KC
[baris,kolom] = size(C)
Qc = eye(baris)
for i =1:baris
    Qc(i,i) = input('Masukkan nilai: ')
end
Rc = [1]

% Aljabar Ricatti
Pc=are(A,B*inv(Rc)*B',C'*Qc*C)
Kc=inv(Rc)*B'*Pc

%Simulink
open_system('SimulinkTA11.slx');
sim('SimulinkTA11.slx',20);

%% mulai coding figure

figure (1)
% figure (1)
%subplot(5,1,1);
plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,2),'r');
hold on
plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,2),'b');
title ('Kecepatan Relatif Lantai 1');
legend ('Sebelum Kontrol','Setelah Kontrol')
xlabel ('waktu')
ylabel ('m/s')
grid on

```

```
figure (2)
% figure (2)
%subplot(5,1,2);
plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,3),'r');
hold on
plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,3),'b');
title ('Kecepatan Relatif Lantai 2');
legend ('Sebelum Kontrol','Setelah Kontrol')
xlabel ('waktu')
ylabel ('m/s')
grid on
```

```
figure (3)
% figure (3)
%subplot(5,1,3);
plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,4),'r');
hold on
plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,4),'b');
title ('Kecepatan Relatif Lantai 3');
legend ('Sebelum Kontrol','Setelah Kontrol')
xlabel ('waktu')
ylabel ('m/s')
grid on
```

```
figure (4)
% figure (4)
%subplot(5,1,4);
plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,5),'r');
hold on
plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,5),'b');
title ('Kecepatan Lantai Relatif 4');
legend ('Sebelum Kontrol','Setelah Kontrol')
xlabel ('waktu')
ylabel ('m/s')
grid on
```



```

figure (5)
% figure (5)
% subplot(5,1,5);
plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,6),'r');
hold on
plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,6),'b');
title ('Kecepatan Relatif Lantai 5');
legend ('Sebelum Kontrol','Setelah Kontrol')
xlabel ('waktu')
ylabel ('m/s')
grid on

% subplot(5,1,1);
% plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,2),'r');
% hold on
% plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,2),'b');
% title ('Motion of storey building on 1th floor');
% legend ('Sebelum Kontrol','Setelah Kontrol')
% xlabel ('waktu')
% ylabel ('m')
% grid on

% subplot(5,1,2);
% plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,3),'r');
% hold on
% plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,3),'b');
% title ('Motion of storey building on 2th floor');
% xlabel ('waktu')
% ylabel ('m')
% grid on

% subplot(5,1,3);
% plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,4),'r');
% hold on
% plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,4),'b');

```

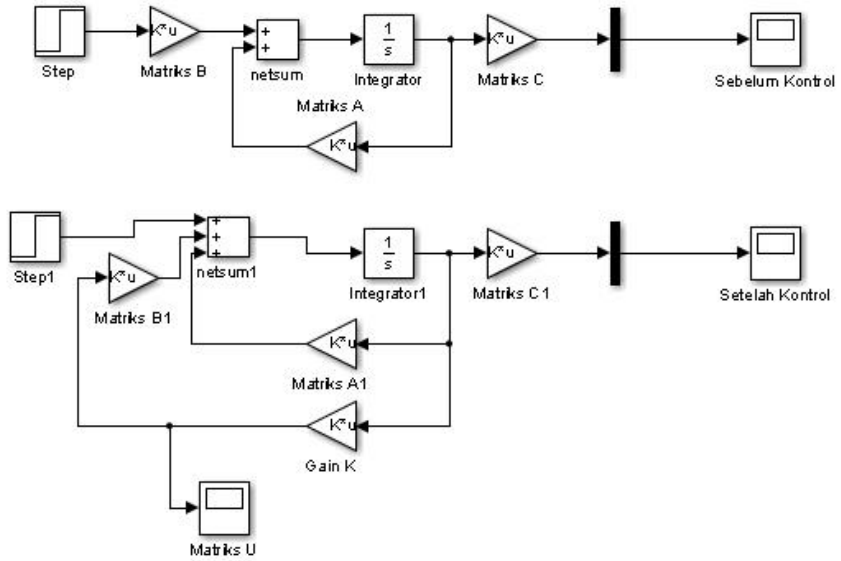
```
% title ('Motion of storey building on 3th floor');
% xlabel ('waktu')
% ylabel ('m')
% grid on

% subplot(5,1,4);
% plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,5),'r');
% hold on
% plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,5),'b');
% title ('Motion of storey building on 4th floor');
% xlabel ('waktu')
% ylabel ('m')
% grid on

% subplot(5,1,5);
% plot(sebelumkontrol(:,1),sebelumkontrol(:,6),'r');
% hold on
% plot(setelahkontrol(:,1),setelahkontrol(:,6),'b');
% title ('Motion of storey building on 5th floor');
% xlabel ('waktu')
% ylabel ('m')
% grid on
```


Lampiran B

Design Simulink



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Zhafira Ardelia Irawan, lahir di Surabaya pada 25 Januari 1998. Anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Moch. Irawan dan Linda Mulyasari. Penulis mengikuti pendidikan dasar dari Sekolah Dasar hingga Sekolah Menengah Atas di Kota Surabaya. Setelah Lulus dari SMAN 15 Surabaya pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan mengambil Jurusan Matematika dengan bidang minat Matematika Terapan.

Selama mengikuti perkuliahan di ITS, penulis turut aktif dalam beberapa kegiatan kemahasiswaan di Jurusan sebagai Staff Student Resource Development Departemen HIMATIKA ITS Periode 2017/2018, dan Secretary Student Resource Development Departemen HIMATIKA ITS Periode 2018/2019. Selain berorganisasi di lingkup jurusan, penulis juga mengikuti Kerja Praktik di Otoritas Jasa Keuangan Kantor Regional IV Jawa Timur selama 30 hari dan ditempatkan di Divisi Sumber Daya Manusia. Jika ingin memberikan saran, kritik, dan diskusi mengenai Tugas Akhir ini dapat dikirimkan melalui email zhafirardelia@gmail.com. Terimakasih.