

TUGAS BESAR KENDALI LANJUT



Active Suspension Orde 4

Oleh:

Alif Fitrianto Ramadhan / 1102190153

Imam Ahmad Syamil / 1102193182

M Faiz Fadel / 1102194032

**PRODI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS TELKOM
BANDUNG**

2022

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	2
ABSTRAK	3
BAB 1 PENDAHULUAN	4
1.1 Latar Belakang	4
1.2 Tujuan Penulisan	4
1.3 Manfaat	4
BAB 2 TEORI DAN MODEL SIMULASI	5
2.2 Linear Quadratic Regulator (LQR)	5
2.3 Parameter Sistem Active Suspension	6
2.4 State Space Sistem	6
2.5 Step Response Sistem	7
2.6 Controllability dan Observability	7
2.7 Nilai Eigen dan Kestabilan	8
2.8 Model Simulasi pada Simulink	9
BAB 3 HASIL DAN DISKUSI	11
3.1 Acceleration	11
3.2 Actuator	12
3.3 Displacement	13
3.4 Travel Suspension	14
3.5 Analisa	15
BAB 4 KESIMPULAN	16
REFERENSI	17
LAMPIRAN	18

ABSTRAK

Active suspension adalah sistem suspensi mobil yang menggunakan teknologi elektronik dan sensor untuk secara real-time mengontrol tingkat damping dan kelembaman pada setiap roda mobil. Linear Quadratic Regulator (LQR) adalah salah satu teknik kontrol yang sering digunakan dalam sistem kontrol active suspension untuk mengoptimalkan tingkat damping dan kelembaman sesuai dengan kondisi jalan dan kebutuhan manuver mobil. Dengan menggunakan LQR, sistem kontrol active suspension dapat memberikan kinerja yang lebih baik dan kenyamanan yang lebih tinggi bagi penumpang, serta meningkatkan kestabilan mobil saat melalui jalan yang tidak rata atau membelok.

Keyword : Active suspension, LQR

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam untuk meningkatkan kinerja suspensi mobil dan memberikan kenyamanan yang lebih baik bagi penumpang dibutuhkan suatu sistem suspense. Sistem suspensi pasif (non-aktif) yang biasa digunakan pada mobil umumnya hanya dapat mengontrol tingkat damping dan kelembaman secara statis, yang artinya tingkat damping dan kelembaman tidak dapat diubah-ubah sesuai dengan kondisi jalan dan kebutuhan manuver mobil. Maka dari itu diperlukan penggunaan active suspension untuk mengontrol tingkat damping dan kelembaman sesuai dengan kondisi jalan dan kebutuhan manuver mobil, sehingga dapat memberikan kinerja yang lebih baik dan kenyamanan yang lebih tinggi bagi penumpang. Selain itu, active suspension juga dapat membantu meningkatkan kestabilan mobil saat melalui jalan yang tidak rata atau membelok, serta mengurangi getaran yang dirasakan oleh penumpang saat mobil melaju dengan kecepatan tinggi.

Pada penerapannya active suspension membutuhkan dukungan suatu kontroler yang dapat meningkatkan kinerja dari active suspension salah satunya adalah LQR, Dengan menggunakan LQR, sistem kontrol active suspension dapat menyesuaikan tingkat damping dan kelembaman sesuai dengan kondisi jalan dan kebutuhan manuver mobil, sehingga dapat memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan sistem kontrol yang tidak menggunakan LQR. Selain itu, LQR juga memiliki keunggulan dalam hal keandalan dan stabilitas sistem, sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan pada sistem kontrol active suspension.

1.2 Tujuan Penulisan

Pembuatan makalah ini bertujuan untuk mempelajari mengenai sistem kendali active suspension menggunakan LQR dan melakukan analisis terhadap performansi dan kestabilan sistem melalui Matlab.

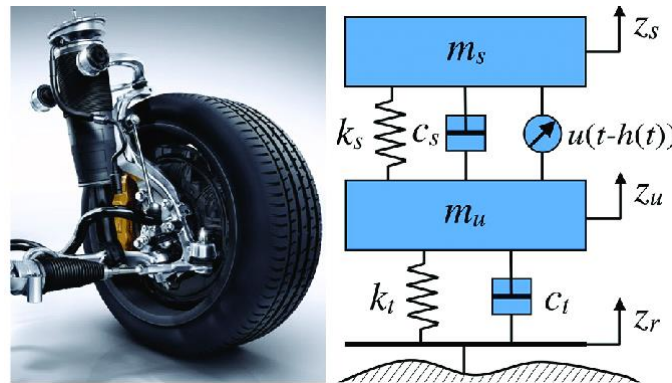
1.3 Manfaat

Dengan membuat pemodelan sistem active suspension menggunakan LQR kontroler diharapkan dapat menambah pengetahuan dan pengalaman kami dalam pemodelan sistem serta menerapkan hal yang sudah dipelajari dalam mata kuliah kendali lanjut, Adapun manfaat lain dari pembuatannya agar hasil dari simulasi dari pemodelan active suspension dapat membantu penerapan active suspension pada lingkup hardware.

BAB 2 TEORI DAN MODEL SIMULASI

2.1 Active Suspension

Active suspension adalah sistem suspensi mobil yang menggunakan teknologi elektronik dan sensor untuk mengontrol tingkat damping dan kelembaman pada setiap roda mobil. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk sensor, kontroler, dan actuator.



Gambar 1. suspension sistem

Sensor digunakan untuk memantau kondisi jalan dan mengirimkan sinyal ke kontroler. Kontroler adalah komputer yang menerima sinyal dari sensor dan mengirimkan perintah ke actuator untuk mengubah tingkat damping dan kelembaman. Actuator adalah komponen mekanik yang menerima perintah dari kontroler dan mengubah tingkat damping dan kelembaman sesuai dengan perintah tersebut.

Active suspension memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan sistem suspensi pasif (non-aktif). Pertama, active suspension dapat membantu meningkatkan kestabilan mobil saat melalui jalan yang tidak rata atau membelok. Kedua, active suspension dapat membantu mengurangi getaran yang dirasakan oleh penumpang saat mobil melaju dengan kecepatan tinggi. Ketiga, active suspension dapat membantu meningkatkan kinerja handling mobil. Namun, active suspension juga memiliki beberapa kekurangan, termasuk biaya pemeliharaan yang lebih tinggi dan kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem suspensi pasif.

2.2 Linear Quadratic Regulator (LQR)

Linear Quadratic Regulator (LQR) adalah salah satu teknik kontrol yang sering digunakan dalam sistem kontrol dinamis. LQR memungkinkan sistem kontrol untuk secara real-time mengoptimalkan keadaan sistem dengan meminimalkan sejumlah fungsi tujuan, seperti mengurangi error atau menstabilkan sistem.

LQR merupakan teknik kontrol yang memanfaatkan pendekatan Linear Quadratic (LQ), yang artinya sistem kontrol yang dikembangkan menggunakan LQR harus linear dan dinamikanya dapat dibangun dari persamaan-persamaan diferensial linear. Selain itu, LQR juga memanfaatkan

pendekatan Regulator, yang artinya sistem kontrol yang dikembangkan menggunakan LQR harus mampu mengatur keadaan sistem sehingga sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

LQR memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan teknik kontrol lain, seperti mudah diaplikasikan pada sistem yang linear dan memiliki keandalan yang tinggi. Namun, LQR juga memiliki beberapa kekurangan, seperti tidak dapat digunakan pada sistem yang non-linear dan memerlukan pengetahuan yang cukup mendalam mengenai sistem yang akan dikontrol.

2.3 Parameter Sistem Active Suspension

Parameter sistem yang dipakai merupakan nilai dari referensi jurnal yang didapat seperti berat suspesion dan nilai kemampuan suspension dalam menerima tekanan. Nilai parameter pada sistem yang dipakai adalah sebagai berikut:

Parameter		
Nama	Nilai	Keterangan
Ms	300 k/g	Sprung Mass
Mus	50 k/g	Unsprung Mass
Ks	17000 N/m	Suspension Stiffness
kus	180000 N/m	Tire Stiffness
Bs	500 N.s/m	Suspension Damping Coefficient
Bus	1050 N.s/m	Tire Damping Coefficient

2.4 State Space Sistem

State space adalah pendekatan untuk memodelkan dan memprediksi secara bersama beberapa data deret waktu yang saling berhubungan, serta peubah-peubah tersebut memiliki interaksi yang dinamis. Model state space menggambarkan data deret waktu melalui variabel keadaan (state vector). Maka dengan memodelkan active suspension system dalam bentuk state space diambil persamaan sebagai berikut:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = C\dot{x} + Du$$

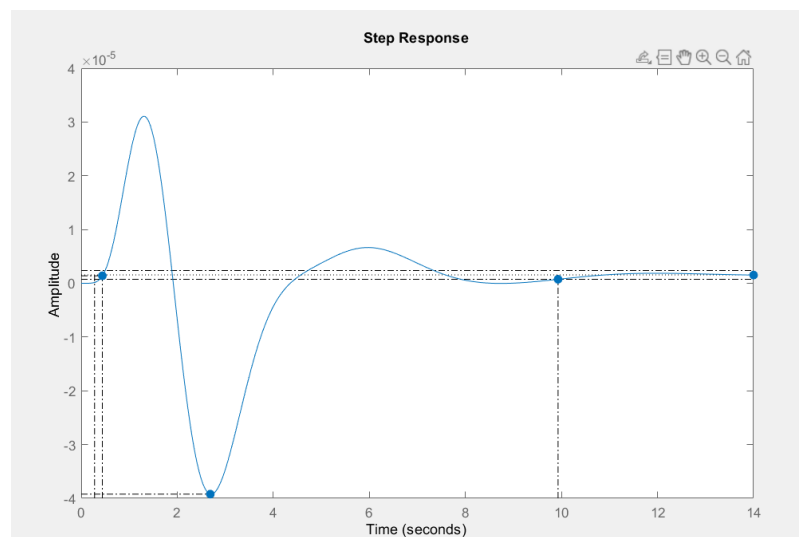
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ -ks/ms & -bs/ms & 0 & bs/ms \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ ks/mus & bs/mus & -kus/mus & -(bs + bus)/mus \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1/ms \\ -1 & 0 \\ bus/mus & -1/mus \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -ks/ms & -bs/ms & 0 & bs/ms \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1/ms \end{bmatrix}$$

2.5 Step Response Sistem

Step response adalah respon sistem terhadap sinyal masukan step (sinyal yang bernilai konstan). Sinyal step biasanya digunakan untuk menguji sistem kontrol dan menentukan sifat dinamik sistem, seperti waktu konstanta, waktu siklus, dan sebagainya. Berikut ini adalah step response yang ditunjukkan oleh sistem.



Gambar 2. Step Response Sistem

Pada gambar step response yang didapat pada sistem, hasil step respon menunjukkan apabila sistem memiliki rise time 0,162s, overshoot 3,92%, dan settling time di 9,93s.

2.6 Controllability dan Observability

Controllability adalah kemampuan sistem untuk dapat dikontrol dengan menggunakan sinyal kontrol yang diberikan. Observability adalah kemampuan sistem untuk dapat diamati melalui sinyal output yang dihasilkan oleh sistem.

Controllability dan observability merupakan konsep yang penting dalam sistem kontrol. Controllability yang baik akan memungkinkan sistem kontrol untuk secara efektif mengatur keadaan sistem sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Observability yang baik akan memungkinkan sistem kontrol untuk secara akurat memantau keadaan sistem dan mengidentifikasi masalah yang terjadi pada sistem.

Controllability dan observability yang didapat pada sistem menggunakan software matlab, ditunjukkan pada gambar berikut.

```
>> rank_Cr

rank_Cr =

     4

>> rank_Ob

rank_Ob =

     4
```

Gambar 3. Rank Controllability dan Observability pada sistem

Pada rank yang didapat pada sistem, menunjukkan sistem yang controlable dan observable karena keduanya memiliki nilai rank 4.

2.7 Nilai Eigen dan Kestabilan

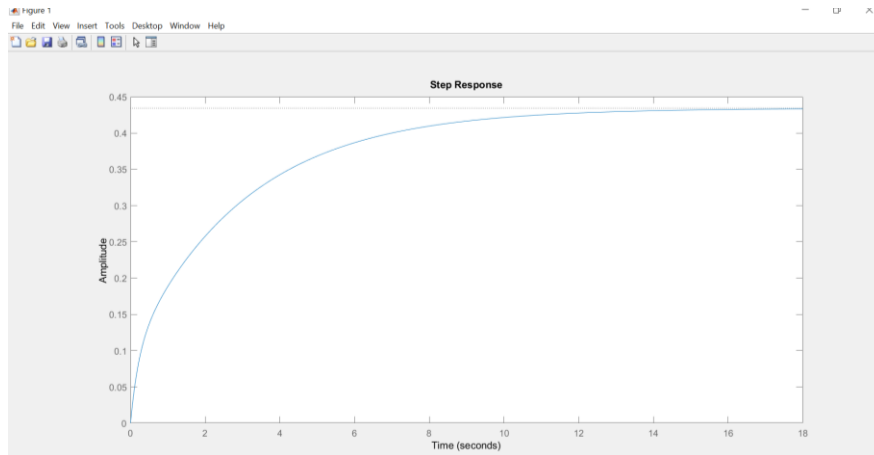
Nilai eigen adalah nilai untuk menentukan kestabilan titik ekuilibrium dari sistem dan vektor eigen akan digunakan untuk menentukan transformasi dari sistem, nilai eigen dan sekaligus grafik kestabilan yang didapat dari nilai eigen adalah sebagai berikut.

```
>> eig(A)

ans =

-15.6257 +60.7572i
-15.6257 -60.7572i
-0.7077 + 7.1648i
-0.7077 - 7.1648i
```

Gambar 4. Nilai eigen

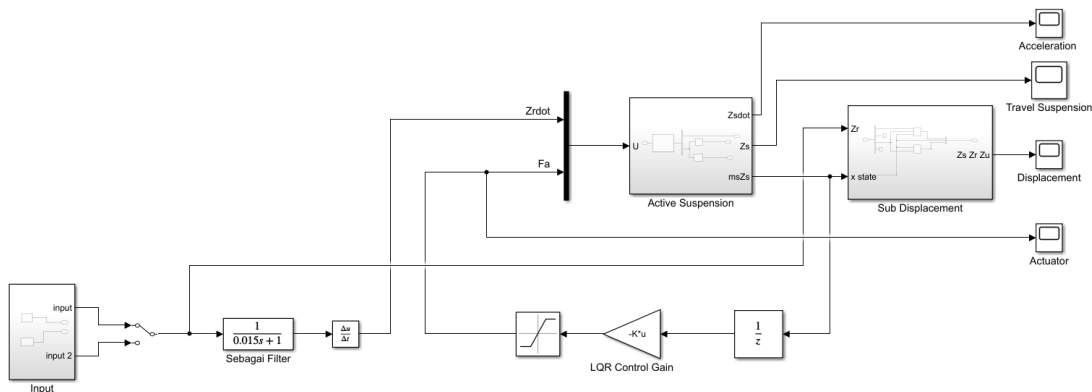


Gambar 5. Kestabilan

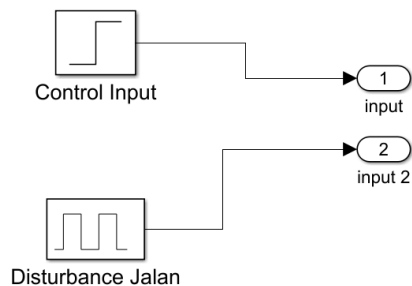
Dari nilai dan gambar grafik eigen yang didapat, dapat diketahui apabila dari nilai eigen sistem merupakan sistem yang stabil.

2.8 Model Simulasi pada Simulink

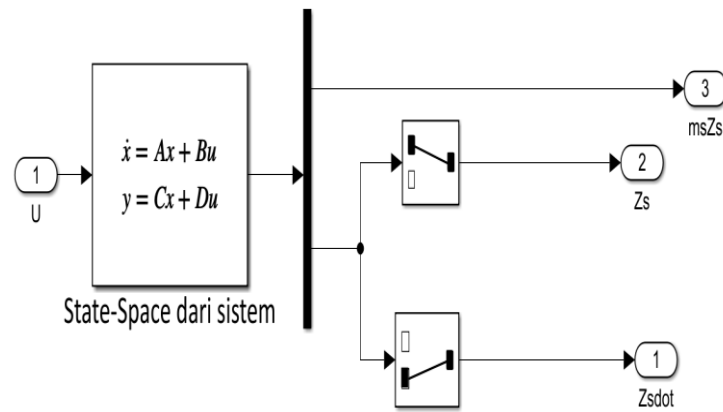
Berikut adalah model simulasi menggunakan LQR controller yang dibuat pada simulink.



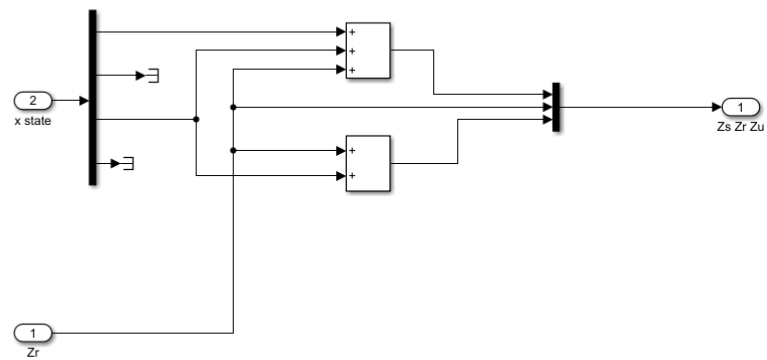
Gambar 6. Model keseluruhan sistem kendali



Gambar 7. Subsystem dari input



Gambar 8. Subsytem dari Active Suspension

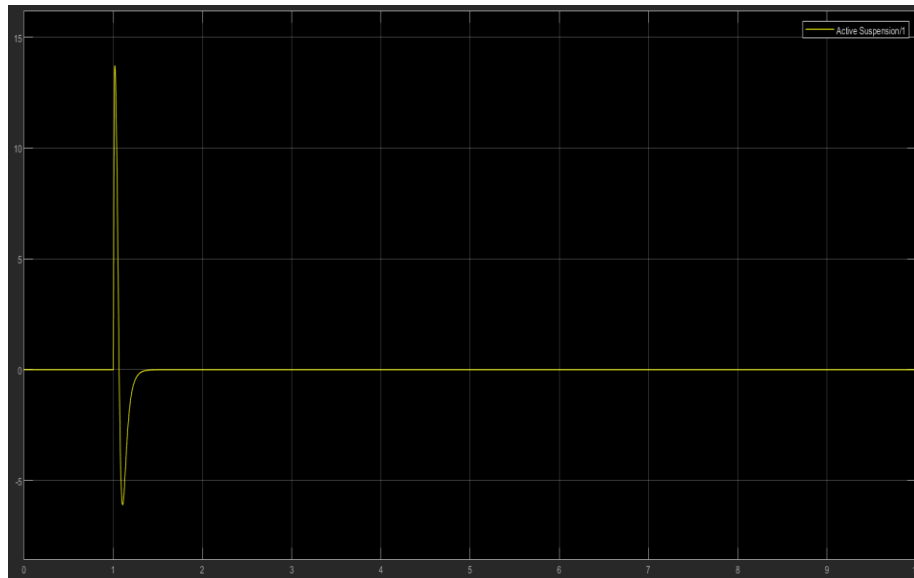


Gambar 9. Subsytem dari Displacement

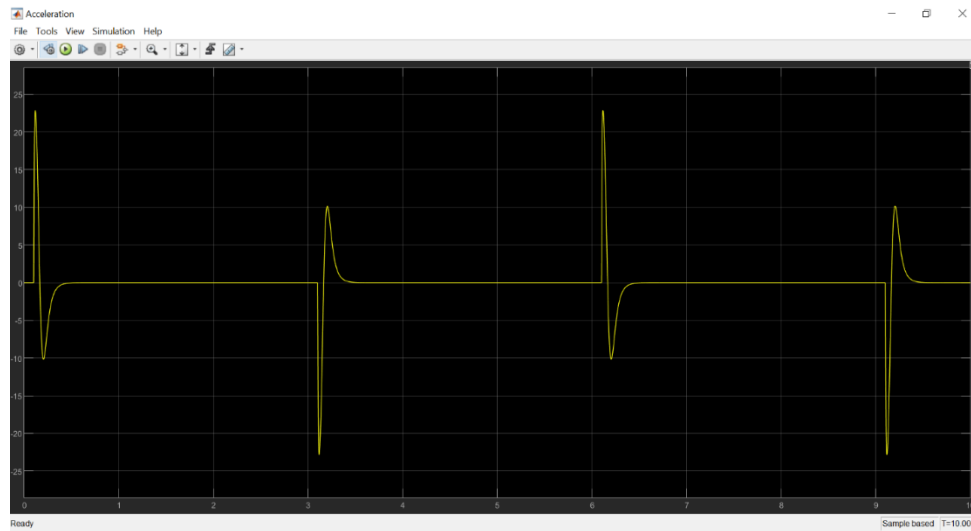
BAB 3 HASIL DAN DISKUSI

3.1 Acceleration

Pada acceleration gambar pertama dengan asumsi jalan rata menunjukkan hasil simulasi yang mempengaruhi acceleration dimana yang awalnya pada nilai terdapat overshoot yang cukup besar, menjadi konstan setelah 1 detik. Dan pada gambar berikutnya merupakan gambar dengan input dengan asumsi jalan yang memiliki gangguan.



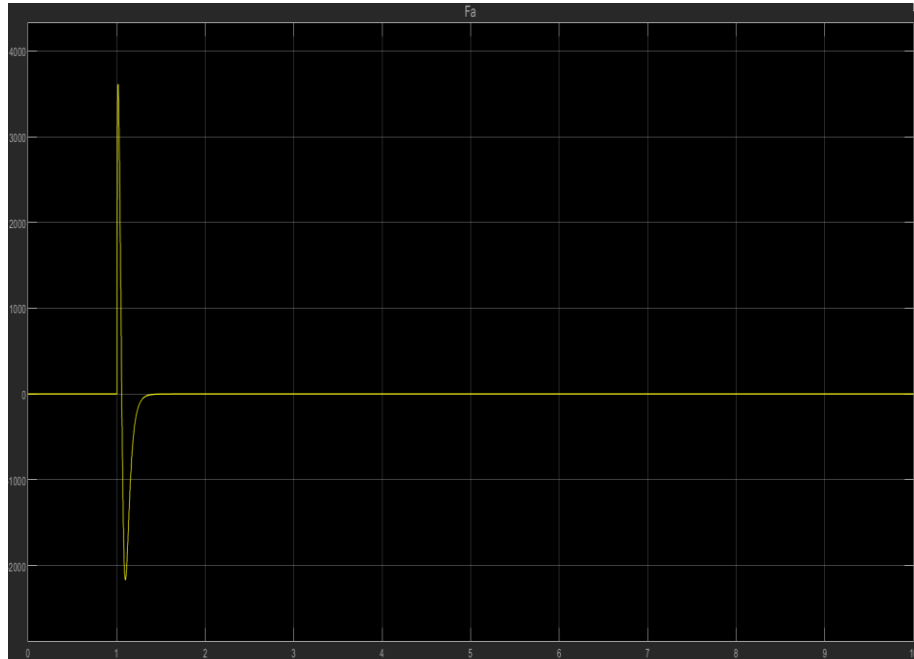
Gambar 10. Hasil acceleration dengan asumsi jalanan rata (tidak memiliki gangguan)



Gambar 11. Hasil acceleration dengan asumsi memiliki gangguan

3.2 Actuator

Pada actuator, hasil simulasinya menunjukkan perubahan nilai gangguan atau tekanan yang berasal dari luar, yang awalnya terjadi perubahan nilai yang bervariasi kemudian nilainya berubah menjadi stabil setelah waktu 1 detik.



Gambar 12. Hasil actuator dengan asumsi jalanan rata (tidak memiliki gangguan)



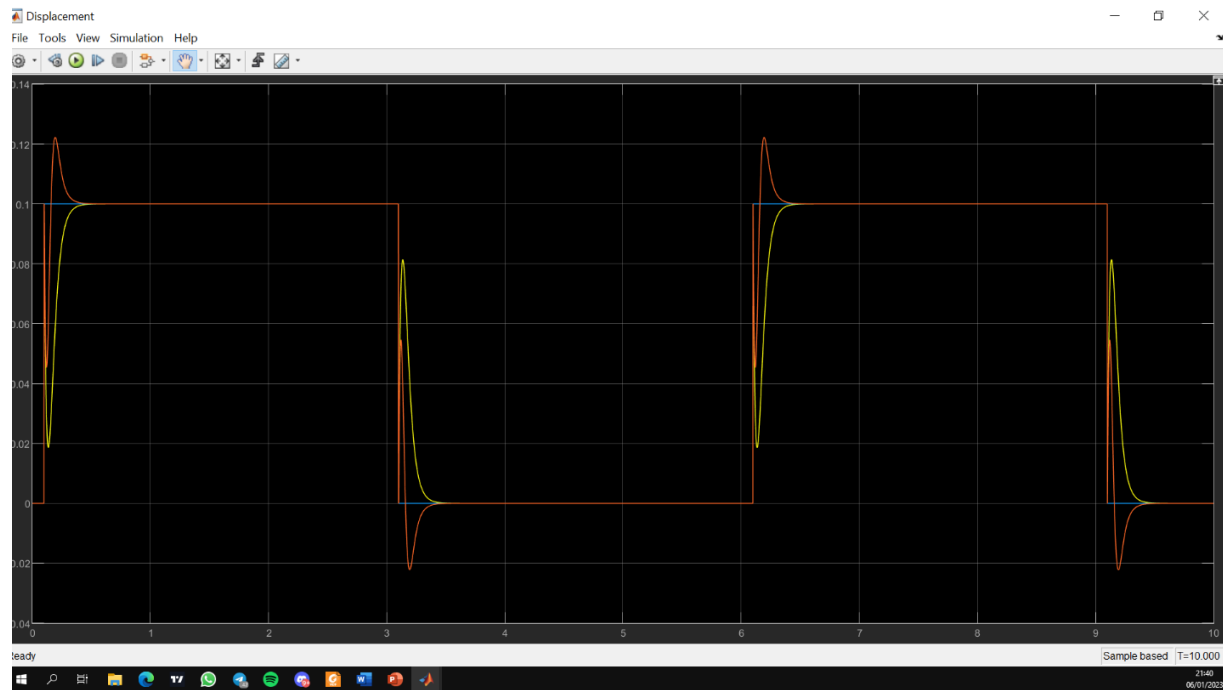
Gambar 13. Hasil actuator dengan asumsi memiliki gangguan

3.3 Displacement

Pada displacement, menunjukkan nilai perpindahan posisi awalnya yang terjadi overshoot kemudian sistem kembali stabil setelah 1 detik pada 0,06m. Dan pada gambar selanjutnya menunjukkan ketika hasil displacement dengan input yang berasumsi apabila jalan memiliki gangguan.



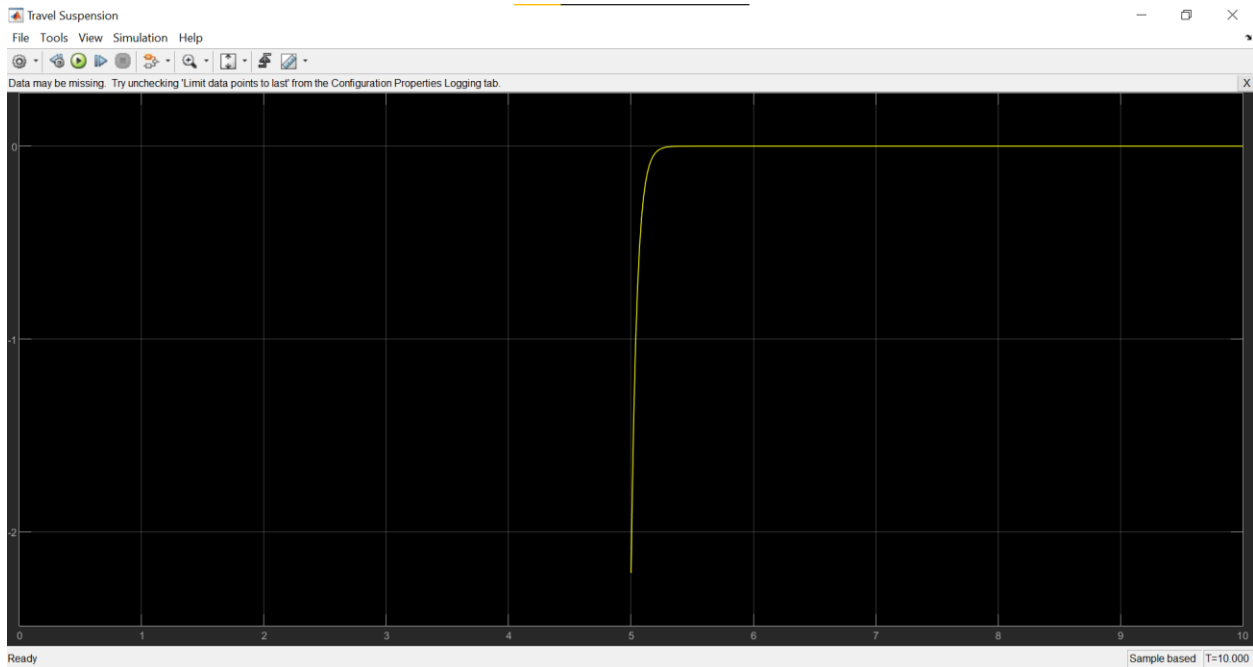
Gambar 14. Hasil displacement dengan asumsi jalanan rata (tidak memiliki gangguan)



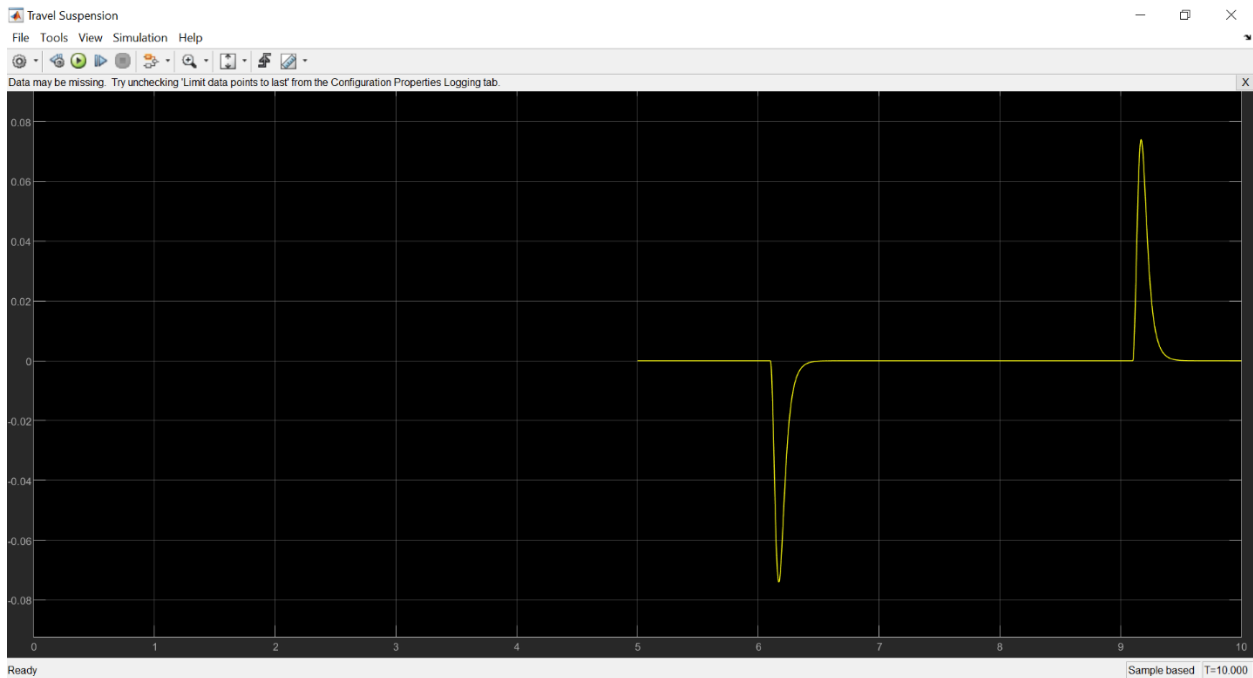
Gambar 15. Hasil displacement dengan asumsi memiliki gangguan

3.4 Travel Suspension

Pada travel suspension dibutuhkan waktu sekitar 0,4 detik supaya spring pada suspension bisa kembali normal dengan berasumsi input tidak memiliki gangguan apapun.



Gambar 16. Hasil travel suspension dengan asumsi jalanan rata (tidak memiliki gangguan)



Gambar 17. Hasil travel suspension dengan asumsi memiliki gangguan

3.5 Analisa

Berdasarkan pemodelan active suspension menggunakan LQR controller didapat sistem yang controlable dan observable. Sistem kendali yang dibuat untuk sistem active suspension dapat membuat kondisi output seperti acceleration, actuator, displacement, dan travel suspension menjadi lebih stabil.

Namun terdapat kekurangan pada step response sistem yang memiliki settling time yang terlalu lama yaitu 9,93 detik dan overshoot di 3,92% meski dengan nilai tersebut bisa dikatakan hasil dari sistem kendali yang didapat sudah cukup baik.

BAB 4 KESIMPULAN

Pada sistem kendali yang dibuat menggunakan LQR controller di sistem active suspension, dapat disimpulkan hasil yang didapat sudah cukup baik. Dilihat dari beberapa output seperti acceleration, actuator, displacement, dan travel suspension telah menunjukkan sistem yang lebih stabil dibandingkan dengan tidak menggunakan controller. Dengan input yang berasumsi jalan rata dan jalan yang memiliki disturbance (gangguan), sistem kendali active suspension yang menggunakan LQR dapat merespon dengan baik dari kedua input asumsi tersebut.

REFERENSI

- [1] Polyakhov dkk, "Mathematical Model of Complete Electromagnetic Rotor Suspension", Saint-Petersburg state electrotechnical university LETI, Russia, 2016.
- [2] Ahmed A. Abdeen dkk, "Active Suspension System Design Using Fuzzy Logic Control and Linear Quadratic Regulator", Assiut University, Assiut, 2019.

LAMPIRAN

Code pada Matlab:

%Parameter:

ms = 300;% Sprung Mass (dalam kg)

mus = 50;% Unsprung Mass (dalam kg)

ks = 17000;% Suspension Stiffness (dalam N/m)

kus = 180000;% Tire stiffness (dalam N/m)

bs = 500;% Suspension Damping coefficient (dalam N.s/m)

bus = 1050;% Tire Damping coefficient (dalam N.s/m)

A = [0 1 0 -1 ;

-ks/ms -bs/ms 0 bs/ms;

0 0 0 1;

ks/mus bs/mus -kus/mus -(bs+bus)/mus];

B = [0 0 ;

0 1/ms ;

-1 0 ;

bus/mus -1/mus];

C = [1 0 0 0 ;

-ks/ms -bs/ms 0 bs/ms];

D = [0 0;

0 0;

0 0;

0 0;

0 0;

0 1/ms];

```
Cr = ctrb(A,B); %Controlability
```

```
rank_Cr = rank(Cr);
```

```
Ob = obsv(A,C); %Observability
```

```
rank_Ob = rank(Ob);
```

```
Q = diag([1760*10^6, 11.6*10^6, 1, 1]);
```

```
R = 0.01;
```

```
K = lqr( A, B(:,2), Q, R ) %LQR
```

```
eig(A); %untuk mencari nilai eigen
```

```
step; %untuk mencari step response
```

```
Sim_Time= 10;
```