



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

LKD SEMESTER GENAP 2024-2025

MUHAMMAD IKRAR YAMIN

NIDN: 0328108303

ISI LAMPIRAN MATAKULIAH:

Sistem Kendali Multivariabel (K) (EL1623)

- 1. SK**
- 2. BAP**
- 3. Presensi**
- 4. Nilai**
- 5. Contoh Materi**

**JAKARTA
SEPTEMBER
2025**



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moch, Kahfi II No.RT.13, RT.13/RW.9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta
 Website : www.istn.ac.id / e-Mail : admin@istn.ac.id / Telepon : (021) 7270090

JURNAL PERKULIAHAN TEKNIK ELEKTRO 2024 GENAP

MATA KULIAH : Sistem Kendali Multivariabel
 NAMA DOSEN : MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.
 KREDIT/SKS : 3 SKS
 KELAS : K

TATAP MUKA KE	HARI/TANGGAL	MULAI	SELESAI	RUANG	STATUS	RENCANA MATERI	REALISASI MATERI	KEHADIRAN MHS	PENGAJAR	TANDA TANGAN
1	Sabtu, 22 Maret 2025	18:40	21:30		Selesai	Pengantar Sistem Kendali Multivariabel	Pengantar Sistem Kendali Multivariabel	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
2	Sabtu, 29 Maret 2025	18:40	21:30	Lab Elk	Selesai	Matriks dalam Sistem Kendali Multivariabel	Matriks dalam Sistem Kendali Multivariabel	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
3	Sabtu, 5 April 2025	18:40	21:30	R-C2	Selesai	Transfer function dan State Space di Sistem Multivariabel	Transfer function dan State Space di Sistem Multivariabel	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
4	Sabtu, 12 April 2025	18:40	21:30		Selesai	Analisis Sistem Kendali Multivariabel	Analisis Sistem Kendali Multivariabel	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
5	Sabtu, 19 April 2025	18:40	21:30		Selesai	Dekomposisi Nilai Singular (Singular Value Decomposition, SVD)	Dekomposisi Nilai Singular (Singular Value Decomposition, SVD)	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	

Laporan Jurnal Perkuliahan

6	Sabtu, 26 April 2025	18:40	21:30	R-C5	Selesai	Desain Pengendali Multivariabel I: Kontrol Umpan Balik	Desain Pengendali Multivariabel I: Kontrol Umpan Balik	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
7	Sabtu, 3 Mei 2025	18:40	21:30		Selesai	Desain Pengendali Multivariabel II: Metode Ruang Keadaan	Desain Pengendali Multivariabel II: Metode Ruang Keadaan	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
8	Sabtu, 10 Mei 2025	18:40	21:30		Selesai	UTS	UTS	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	

Direksi oleh: MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T. pada 14 April 2025 07:10:25 WIB | fakultas.istn.ac.id/akademi/rep_perkuliahan



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moch. Kahfi II No.RT.13, RT.13/RW.9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta
 Website : www.istn.ac.id / e-Mail : admin@istn.ac.id / Telepon : (021) 7270090

JURNAL PERKULIAHAN TEKNIK ELEKTRO 2024 GENAP

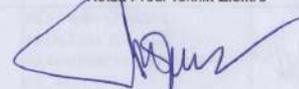
MATA KULIAH : Sistem Kendali Multivariabel
 NAMA DOSEN : MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.
 KREDIT/SKS : 3 SKS
 KELAS : K

TATAP MUKA KE	HARI/TANGGAL	MULAI	SELESAI	RUANG	STATUS	RENCANA MATERI	REALISASI MATERI	KEHADIRAN MHS	PENGAJAR	TANDA TANGAN
9	Sabtu, 17 Mei 2025	18:40	21:30	Lab Elk	Selesai	Pengendalian Optimal	Pengendalian Optimal	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
10	Sabtu, 24 Mei 2025	18:40	21:30		Selesai	Pengendalian Robust	Pengendalian Robust	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
11	Sabtu, 31 Mei 2025	18:40	21:30	Lab Elk	Selesai	Simulasi MATLAB untuk Sistem Kendali Multivariabel	Simulasi MATLAB untuk Sistem Kendali Multivariabel	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
12	Sabtu, 7 Juni 2025	18:40	21:30	Lab Elk	Selesai	Aplikasi Sistem Kendali Multivariabel di Industri	Aplikasi Sistem Kendali Multivariabel di Industri	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
13	Sabtu, 14 Juni 2025	18:40	21:30		Selesai	Studi Kasus I: Reaktor Kimia	Studi Kasus I: Reaktor Kimia	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	

Laporan Jurnal Perkuliahan

14	Sabtu, 21 Juni 2025	18:40	21:30	Lab Elk	Selesai	Studi Kasus II: Sistem Tenaga Listrik	Studi Kasus II: Sistem Tenaga Listrik	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
15	Sabtu, 28 Juni 2025	18:40	21:30		Selesai	Proyek Akhir dan Evaluasi	Proyek Akhir dan Evaluasi	(3 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	
16	Sabtu, 5 Juli 2025	18:40	21:30		Selesai	UAS	UAS	(4 / 4)	MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T. MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.	

Jakarta, 14 Agustus 2025
Ketua Prodi Teknik Elektro



Dr. Ing. AGUS SOFWAN, M.Eng.Sc.
NIDN 0331076204



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moch. Kahfi II No.RT.13, RT.13/RW.9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta

Website : www.istn.ac.id / e-Mail : admin@istn.ac.id / Telepon : (021) 7270090

LAPORAN PERSENTASE PRESENSI MAHASISWA TEKNIK ELEKTRO 2024 GENAP

Mata kuliah : Sistem Kendali Multivariabel

Nama Kelas : K

Dosen Pengajar : MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.

No	NIM	Nama	Pertemuan	Alfa	Hadir	Ijin	Sakit	Presentase
Peserta Reguler								
1	24224606	Rissa Aulia	16		16			100
2	24224710	El Ariq Ardharaja	16	1	15			93.75
3	24224715	Oki Gunawan Harahap	16		16			100
4	24224724	MUHAMMAD AHZA HAFIZ FAHRESI	16		16			100

Jakarta, 24 Agustus 2025

Ketua Prodi Teknik Elektro

Dr._ing. AGUS SOFWAN, M.Eng.Sc.

NIP. 198509-008



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moch. Kahfi II No.RT.13, RT.13/RW.9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta
Website : www.istn.ac.id / e-Mail : admin@istn.ac.id / Telepon : (021) 7270090

LAPORAN NILAI PERKULIAHAN MAHASISWA Program Studi S1 Teknik Elektro Periode 2024 Genap

Mata kuliah : Sistem Kendali Multivariabel

Nama Kelas : K

Kelas / Kelompok :

Kode Mata kuliah : EL1623

SKS : 3

No	NIM	Nama Mahasiswa	TUGAS INDIVIDU (20,00%)	UTS (35,00%)	UAS (35,00%)	KEHADIRAN (10,00%)	Nilai	Grade	Lulus	Sunting KRS?	Info
1	24224606	Rissa Aulia	100.00	100.00	85.00	100.00	94.75	A	✓		
2	24224710	El Ariq Ardharaja	100.00	80.00	80.00	93.75	85.38	A	✓		
3	24224715	Oki Gunawan Harahap	100.00	90.00	85.00	100.00	91.25	A	✓		
4	24224724	MUHAMMAD AHZA HAFIZ FAHRESI	100.00	100.00	85.00	100.00	94.75	A	✓		
Rata-rata nilai kelas			100,00	92,50	83,75	98,44	91,53	A			

Pengisian nilai untuk kelas ini ditutup pada **Sabtu, 9 Agustus 2025** oleh **201901-004**

Tanggal Cetak : Rabu, 27 Agustus 2025, 13:42:57

Paraf Dosen :

MUHAMMAD IKRAR YAMIN, ST., M.Tr.T.

MOHAMMAD FADHLI ABDILLAH, S.T., M.T.

Controllability dan Observability pada Sistem Kendali Multivariabel

✦ Apa itu *Controllability*?

Controllability atau *keterkendalian* adalah kemampuan kita untuk **mengatur atau mengendalikan semua bagian dari sistem** agar bisa mencapai kondisi yang kita inginkan, hanya dengan memberi input (masukan) tertentu.

✦ Contoh nyata dalam sistem kendali:

- Bayangkan sebuah **lengan robot** yang punya 3 sendi (joint).
 - Jika semua sendi bisa digerakkan dengan motor penggerak (aktuator), maka sistem itu **kontrolabel**.
 - Tapi kalau salah satu motor rusak dan tidak bisa memutar sendinya, maka tidak semua posisi lengan bisa dicapai → sistem **tidak kontrolabel**.

☞ Intinya: kalau sistem tidak kontrolabel, maka **ada bagian sistem yang tidak bisa kita kendalikan walau kita kasih input apapun**

✦ Apa itu *Observability*?

Observability atau *keteramatan* adalah kemampuan kita untuk **mengetahui kondisi internal sistem (state)** hanya dengan melihat output-nya, tanpa harus membuka sistem itu sendiri.

✦ Contoh nyata dalam sistem kendali:

- Pada sebuah **drone**, misalnya quadcopter, kita tidak bisa langsung mengukur semua posisi, kecepatan, atau sudut dari semua sumbu.
 - Tapi jika kita punya cukup sensor (misalnya gyroscope, accelerometer), maka kita bisa **mengamati semua state-nya dari output sensor** → ini disebut **observable**.
 - Jika tidak cukup sensor (misalnya hanya bisa lihat posisi tapi tidak tahu kecepatannya), maka **tidak semua state bisa diamati** → sistem **tidak observable**.

☞ Intinya: kalau sistem tidak observable, **kita tidak bisa memantau atau mengukur semua perilaku sistem dari luar**.

Kenapa Ini Penting dalam Sistem Kendali?

- **Jika tidak kontrolabel** maka Kita **tidak bisa mengendalikan** semua bagian sistem kemudian kontroler tidak akan berfungsi optimal.
- **Jika tidak observable** maka Kita **tidak tahu** apa yang sedang terjadi di dalam sistem kemudian tidak bisa merancang **observer** atau estimator seperti Kalman Filter.

Aplikasi nyata lainnya:

- **Mobil listrik otonom:** harus bisa kontrol semua gerakan (kontrolabel), dan harus bisa memperkirakan posisi dan kecepatan (observable).
- **Robot industri:** jika salah satu sensor atau aktuator tidak bekerja, maka sistem mungkin tidak bisa dikendalikan sepenuhnya atau tidak bisa dimonitor.

2. Sistem dalam Representasi State-Space

Sistem dinamis dapat dinyatakan dalam bentuk:

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

Dimana:

- $x(t)$ adalah **vektor keadaan (state vector)** berdimensi $n \times 1$
- $u(t)$ adalah **input**, $m \times 1$
- $y(t)$ adalah **output**, $p \times 1$
- A adalah matriks sistem ($n \times n$)
- B adalah matriks input ($n \times m$)
- C adalah matriks output ($p \times n$)
- D adalah matriks feedthrough ($p \times m$)

3. Konsep Controllability (Keterkendalian)

Definisi

Sistem dikatakan **kontrolabel** jika kita bisa membawa **state awal** $x(0)$ ke **state akhir** x_f dalam waktu terbatas, menggunakan sinyal input $u(t)$

Uji Kalman (Kalman Rank Test)

$$C = [B \quad AB \quad A^2B \quad \dots \quad A^{n-1}B]$$

- C disebut **matriks kontrolabilitas**.
- Jika $\text{rank}(C) = n$, maka sistem **kontrolabel**.

Contoh:

Misal

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Maka

$$C = [B \quad AB] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \text{rank} = 2 \Rightarrow \text{Kontrolabel}$$

📌 Apa itu Rank (Peringkat Matriks)?

- **Rank** dari sebuah matriks adalah jumlah **baris atau kolom yang independen secara linear**. Dalam bahasa sederhana:
- **Rank adalah ukuran seberapa banyak informasi unik yang dimiliki oleh suatu matriks.**

💡 Analogi Sederhana:

Bayangkan kita punya 3 kabel dengan arah vektor berbeda:

- Kalau ketiganya mengarah ke arah yang berbeda-beda (tidak sejajar), maka **informasinya lengkap**, dan $\text{rank} = 3$.
- Tapi kalau 2 kabel sejajar (misalnya salinan satu sama lain), maka yang satu tidak menambah informasi baru maka rank hanya = 2.

Apa itu n ?

Dalam sistem state-space

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned}$$

- x : vektor **state** berdimensi $n \times 1$
- n : adalah **jumlah state** dalam sistem, atau **ukuran dimensi vektor keadaan**

- Jadi, kalau x punya 3 elemen, maka $n=3$

✕ Contoh Sistem Tidak Kontrolabel

Misal

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dimensi sistem

- $A : 2 \times 2 \rightarrow$ artinya $n=2$
- $B : 2 \times 1 \rightarrow$ input tunggal (SISO)

🔍 Hitung Matriks Kontrolabilitas:

$$C = [B \quad AB] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- Kolom ke-2 hasil dari $AB = A \cdot B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$
- Hasilnya:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \text{rank}(C) = 1$$

Karena $\text{rank}(C) = 1 < n = 2$

→ Sistem **tidak kontrolabel**

✦ Makna Fisiknya:

- Artinya, **hanya satu dari dua state** yang bisa dipengaruhi oleh input.
- **State ke-2** (yang berhubungan dengan baris ke-2 dari A) **tidak bisa dikendalikan** → tidak ada jalur dari input menuju ke sana.

👁️ 4. Konsep Observability (Keteramatan)

Definisi:

Sistem dikatakan **observable** jika kita dapat mengetahui **state $x(t)$** dari pengamatan output $y(t)$ dalam waktu terbatas.

Uji Kalman untuk Observabilitas:

$$O = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix}$$

- O disebut **matriks observabilitas**.
- Jika $\text{rank}(O) = n$, maka sistem **observable**.

Contoh:

Misal:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0]$$

Maka

$$O = \begin{bmatrix} C \\ CA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \text{rank} = 2 \Rightarrow \text{Observable}$$

△5. Implikasi Jika Tidak Kontrolabel / Observable

Masalah	Akibat
Tidak Kontrolabel	Tidak semua state bisa dikendalikan → kontrol tidak optimal
Tidak Observable	Tidak semua state bisa diketahui → observer tidak bisa dirancang

Contoh nyata:

- **Sistem pesawat:** Jika aktuator rusak → sistem tidak kontrolabel.
- **Robot sensor rusak:** Tidak bisa mengamati seluruh kondisi → tidak observable.

6. Sistem Multivariabel (MIMO)

Pada sistem dengan banyak input dan output:

- Uji kontrolabilitas dan observabilitas **berlaku sama**, tetapi matriks B dan C bisa berdimensi lebih besar.

- Gunakan fungsi **MATLAB**:
 - `ctrb(A, B)` → untuk matriks kontrolabilitas.
 - `obsv(A, C)` → untuk matriks observabilitas.
 - Gunakan `rank()` untuk mengujinya.

7. Simulasi MATLAB

```
A = [0 1; -2 -3];
```

```
B = [0; 1];
```

```
C = [1 0];
```

```
Co = ctrb(A, B);
```

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

```
rank(Co) % Cek kontrolabilitas
```

```
rank(Ob) % Cek observabilitas
```