



BUKU RANCANGAN PENGAJARAN (BRP)

MATA KULIAH

SISTEM KENDALI

oleh

Dr. Arief Sudarmaji

**Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia
Depok
Mei 2016**

PENGANTAR

Buku Rancangan Pembelajaran (BRP) Mata Kuliah Sistem Kendali adalah satu dari beberapa mata kuliah khusus pada peminatan Fisika Instrumentasi dan didesain untuk dilaksanakan pada semester lanjut setelah mata kuliah Elektronika 1 dan Elektronika 2. Pada mata kuliah ini, mahasiswa mempelajari pengenalan konsep umpan balik dan sistim pengendali, Transformasi Laplace, fungsi transfer sistim linier, linierisasi sistim nonlinier, pemodelan matematik sistim, sistim mekanik dan listrik, model blok diagram, model grafik aliran signal, model state variable, analisa signal *error*, sensitivitas sistim kendali umpanbalik terhadap variasi dari parameter pengendalian, Signal gangguan pada sistim kendali umpanbalik, pengendalian respon transien sistim, *error* pada keadaan tunak (*steady state error*), kinerja sistim order dua, efek dari pole ketiga dan zero pada respon sistim order dua, indeks kinerja sistim kendali, penyederhanaan sistim linier, analisa kestabilan sistim loop terbuka dan loop tertutup, pengujian kestabilan sistim menggunakan metode fungsi karakteristik dan metode Ruth Hurwitz; Perancangan Sistem Kendali: konsep *root locus*, perancangan parameter pengendalian dengan metode *root locus*, Penentuan parameter PID dengan metode *trial and error*, indentifikasi proses untuk sistim loop terbuka yang stabil, penentuan parameter PID dengan metode: *Direct Synthesis*, *Inter Model Control*, indeks kinerja sistim, Ziegler Nichols, Cohen Coon dan Kurva reaksi; analisa kinerja respon frekuensi sistim menggunakan Bode dan Nyquist plot, perancangan sistim kendali Pi, PID, *Lead*, *lag* dan *Lead Lag*,. perancangan sistim umpan balik dengan *state variable*. Kami berharap BRP ini dapat menjadi acuan proses pembelajaran bagi dosen dan mahasiswa, serta masyarakat yang ingin mempelajarinya.

Depok, Mei 2016

Dr. Arief Sudarmaji

I. Informasi Umum

1. Nama Program Studi / Jenjang Studi : Fisika / S1
2. Nama Mata Kuliah : Sistem Kendali
3. Kode Mata Kuliah : SCFI603716
4. Semester Ke- : 7
5. Jumlah SKS : 4 SKS
6. Metode Pembelajaran : Self Directed Learning, Case Study, Simulation, Problem Based Learning, Project Based Learning
7. Mata Kuliah yang Menjadi Prasyarat : Elektronika I , Elektronika II
8. Menjadi Prasyarat untuk Mata Kuliah : -
9. Integrasi Antara Mata Kuliah : Praktikum Sistem Kendali
10. Dosen Pengampu : Dr. Arief Sudarmaji
11. Deskripsi Mata Kuliah : Memberikan gambaran dasar tentang system kendali terbuka dan tertutup, Transformasi Laplace, fungsi transfer sistim linier, linierisasi sistim nonlinier, pemodelan matematik sistim, model blok diagram, model grafik aliran signal, model state variable, sensitivitas sistim kendali umpanbalik terhadap variasi dari parameter pengendalian, analisa kestabilan sistim loop terbuka dan loop tertutup, pengujian kestabilan sistim menggunakan metode fungsi karakteristik dan metode Ruth Hurwitz; perancangan sistem kendali dengan metode root locus, frekuensi domain, penentuan parameter PID dengan metode trial and error, penentuan parameter PID dengan metode: Direct Synthesis, Inter Model Control, Ziegler Nichols, Cohen Coon dan kurva reaksi, serta analisa kinerja respon frekuensi sistim menggunakan Bode dan Nyquist plot.

II. Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) dan Kemampuan pada Akhir Tahap Pembelajaran (Sub-CPMK)

A. CPMK

Mahasiswa mampu memahami masalah dan menerapkan metode interfacing dan programming pada sistem tertanam secara efektif dan efisien. (C3) (ELO 3, 5, 6, 7)

B. Sub-CPMK

1	Menjelaskan konsep dasar Sistem Kendali dan beberapa contoh konfigurasi system kendali, analisa system kendali dan kriteria target perancangan system kendali, tahapan proses perancangan system kendali (C2 dan C3)	1
2	Menjelaskan konsep dasar Laplace transform dan inverse Laplace transform, Modeling pada system electric, mekanik dan electromekanik, Linierisasi pada system non-linier (C2 dan C3)	1
3	Menjelaskan konsep dasar pole dan zero dari fungsi transfer untuk menentukan respons waktu dari sistem kendali, menjelaskan secara kuantitatif respons sistem orde satu, menjelaskan respons umum dari sistem orde dua, menentukan damping ratio, frekuensi natural, settling time, peak time, percent overshoot, dan rise time dari sistem orde dua (C2 dan C3)	1
4	Menjelaskan konsep dasar steady-state error, dan spesifikasi steady state error, menentukan steady state error karena gangguan, menentukan steady-state error sensitivity akibat perubahan parameter sistem kendali, menjelaskan metode Routh Hurwitz untuk menentukan stabilitas sistem kendali (C2 dan C3)	1
5	Menjelaskan konsep dasar root locus, karakteristik root locus dan menggambar (plotting) root locus, menggunakan root locus untuk menentukan nilai suatu parameter komponen sistem kendali (C2 dan C3)	1
6	Menjelaskan konsep dasar metode root locus untuk merancang sistem kendali atau kompensator untuk meningkatkan transient performance dan steady state error performance, realisasi kompensator secara fisik (C2 dan C3)	1
7	Menjelaskan konsep dasar respons frekuensi sebuah sistem kendali, menggambar (plot) respons frekuensi, sketsa diagram Nyquist dan menggunakannya untuk menentukan stabilitas sistem kendali, menjelaskan dan menggambar Bode plot, menentukan gain margin, phase margin (C2 dan C3)	1
8	Menjelaskan konsep dasar mengatur gain agar system memenuhi kriteria transient response, untuk merancang sistem kendali atau kompensator untuk meningkatkan transient performance dan steady state error performance dengan metode respons frekuensi (C2 dan C3)	1
9	Menjelaskan konsep dasar model matematika untuk representasi state system linear time invariant, model system elektrik dan mekanik dalam state space, mengubah fungsi transfer ke state space dan sebaliknya, linierisasi dalam system state space (C2 dan C3)	1
10	Menjelaskan konsep dasar perancangan suatu state feedback controller dengan penempatan pole, menentukan apakah sebuah system controllable dan observable, merancang state feedback controller untuk memenuhi spesifikasi transient response dan steady state error performance (C2 dan C3)	1
11	Menjelaskan konsep dasar modeling the digital computer dalam feedback system, z-Transform dan inverse z-Transform, menentukan sampled-data transfer functions, menentukan stabilitas suatu sampled-data system dan menentukan sampling rates agar sistem stabil, perancangan sistem kendali digital agar memenuhi kriteria steady state error dan transient response (C2 dan C3)	1
12	Menjelaskan konsep dasar perancangan dan tuning PID controller dengan metode direct synthesis, internal model control, Ziegler Nichols, Cohen Coon dan kurva reaksi (C2 dan C3)	2
13	Merancang sistem embedded sederhana dalam bentuk Tugas Proyek (C3)	1

III. Rencana Pembelajaran

Minggu Ke	Sub-CPMK	Bahan Kajian	Metode Pembelajaran	Waktu yang Dibutuhkan	Pengalaman Belajar (*O-L-U)	Bobot Penerapan Sub-CPMK Pada MK (%)	Indikator Pencapaian Sub-CPMK	Referensi
1	1	Pengantar Sistem Kendali	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (50%) L: Kuis (10%) U: Umpan balik (40%)	7	Menjelaskan konsep dasar: a) Konfigurasi Sistem Kendali b) Kriteria performance sistem kendali c) Tahapan proses perancangan system kendali	No. 1 Chap1, Hal 1 No. 2 Chap1, Hal 1
2	2	Modeling dalam frequency domain	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (50%) L: Kuis (10%) U: Umpan balik (40%)	7	Menjelaskan konsep dasar: a) Laplace transform dan inverse Laplace transform b) Modeling pada system electric, mekanik dan electromekanik c) Linierisasi pada system non-linier	No. 1 Chap 2 Hal: 33 Chap 3 Hal 107
3	3	Karakteristik dan Performance Sistem Kendali Tertutup 1	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Kuis (30%) U: Umpan balik (60%)	7	Menjelaskan konsep dasar: a) pole dan zero dari fungsi transfer untuk menentukan respons waktu	No. 1 Chap 4 Hal: 157 No. 2 Chap 4 Hal 234

							dari sistem kendali b) menjelaskan secara kuantitatif respons sistem orde satu c) menjelaskan respons umum dari sistem orde dua d) menentukan damping ratio, frekuensi natural, settling time, peak time, percent overshoot, dan rise time dari sistem orde dua	
4	4	Karakteristik dan Performance Sistem Kendali Tertutup 2	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Kuis (30%) U: Umpan balik (60%)	7	Menjelaskan konsep dasar: a) Menjelaskan konsep dasar steady-state error, dan spesifikasi steady state error b) menentukan steady state error karena gangguan c) menentukan steady-state error sensitivity akibat perubahan parameter sistem kendali.	No. 1 Chap 2 Hal 299 No. 2 Chap 4 Hal 234 No.1 Chap 7 Hal 335

							d) menjelaskan metode Routh Hurwitz untuk menentukan stabilitas sistem kendali	
5	5	Metode Root Locus	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Kuis (30%) U: Umpan balik (60%)	7	Menjelaskan konsep dasar: a) root locus dan karakteristiknya b) menggambar (plotting) root locus c) menggunakan root locus untuk menentukan nilai suatu parameter komponen sistem kendali	No. 1 Chap 8 Hal 381 No. 2 Chap 7 Hal 443
6	6	Desain Sistem Kendali dengan metode Root Locus	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Kuis (30%) U: Umpan balik (60%)	7	Menjelaskan konsep dasar metode root locus untuk merancang sistem kendali PD, PD, PID dan lag,lead, lag-lead kompensator untuk meningkatkan: a) transient performance b) steady state error performance c) transient dan steady state error performance d) realisasi kompensator	No. 1 Chap 9 Hal 449 No. 2 Chap 10 Hal: 757

							secara fisik untuk PD, PI, PID controller	
7	7	Metode Frequency Response	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Kuis (30%) U: Umpan balik (60%)	7	Menjelaskan konsep dasar: a) Menjelaskan konsep dasar respons frekuensi sebuah sistem kendali b) menggambar (plot) respons frekuensi c) sketsa diagram Nyquist dan menggunakannya untuk menentukan stabilitas sistem kendali d) menjelaskan dan menggambar Bode plot, menentukan gain margin, phase margin	No. 1 Chap 10 Hal 525 No. 2 Chap 8 Hal: 554 No. 2 Chap 9 Hal 634
8	Ujian Tengah Semester							
9	8	Desain Sistem Kendali dengan metode Frequency Response	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Kuis (30%) U: Umpan balik (60%)	7	Menjelaskan konsep dasar penggunaan metode respons frekuensi untuk: a) mengatur gain agar system memenuhi kriteria transient response	No. 1 Chap 11 Hal. 613 No. 2 Chap 10 Hal. 772

							b) untuk merancang sistem kendali PD, PI, PID dan lag, lead, lag-lead kompensator untuk meningkatkan transient performance dan steady state error performance	
10	9	Modeling dalam time domain	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Kuis (30%) U: Umpan balik (60%)	7	Menjelaskan konsep dasar: a) model matematika untuk representasi state system linear time invariant b) model system elektrik dan mekanik dalam state space c) mengubah fungsi transfer ke state space dan sebaliknya d) linierisasi dalam system state space	No. 1 Chap 3 Hal. 115 No. 2 Chap 3 Hal. 161
11	10	Desain Sistem Kendali dalam state space	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Kuis (30%) U: Umpan balik (60%)	7	Menjelaskan konsep dasar: a) perancangan suatu state feedback	No. 1 Chap 12 Hal. 649 No. 2 Chap 11 Hal. 834

							<p>controller dengan penempatan pole</p> <p>b) menentukan apakah sebuah system controllable dan observable</p> <p>c) merancang state feedback controller untuk memenuhi spesifikasi transient response dan steady state error performance</p>	
12	11	Sistem Kendali Digital	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	<p>O: Pengantar (10%)</p> <p>L: Kuis (30%)</p> <p>U: Umpan balik (60%)</p>	7	<p>Menjelaskan konsep dasar:</p> <p>a) modeling the digital computer dalam feedback system</p> <p>b) z-Transform dan inverse z-Transform</p> <p>c) menentukan sampled-data transfer functions</p> <p>d) menentukan stabilitas suatu sampled-data system dan menentukan sampling rates agar sistem stabil</p>	<p>No. 1 Chap 13 Hal. 707</p> <p>No. 2 Chap 13 Hal. 984</p>

							e) perancangan sistem kendali digital agar memenuhi kriteria steady state error dan transient response	
13	11	Sistem Kendali Digital	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Kuis (30%) U: Umpan balik (60%)	7	<p>Menjelaskan konsep dasar:</p> <p>a) modeling the digital computer dalam feedback system</p> <p>b) z-Transform dan inverse z-Transform</p> <p>c) menentukan sampled-data transfer functions</p> <p>d) menentukan stabilitas suatu sampled-data system dan menentukan sampling rates agar sistem stabil</p> <p>e) perancangan sistem kendali digital agar memenuhi kriteria steady state error dan transient response</p>	<p>No. 1 Chap 13 Hal. 707</p> <p>No. 2 Chap 13 Hal. 984</p>

14	12	Perancangan dan Tuning PID controller	Kuliah mimbar & tugas individu	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Presentasi (80%) U: Umpan balik (10%)	7	Menjelaskan konsep dasar perancangan dan tuning PID controller dengan metode: direct synthesis, internal model control, Ziegler Nichols, Cohen Coon dan kurva reaksi.	No. 3 Chap 12 Hal 199
15	13	Tugas Proyek	Project Based Learning	200 menit	O: Pengantar (10%) L: Presentasi (80%) U: Umpan balik (10%)	9		
16	Ujian Akhir Semester							

*) O : Orientasi
L : Latihan
U : Umpan Balik

Referensi:

1. N.S. Nise, M.A, *Control Systems Engineering*, 7th edition, Wiley, 2015.
2. R. C. Dorf and R.H. Bishop, *Modern Control System*, 12th edition, Prentice Hall, 2011
3. D.E. Seborg, T.F. Edgar, D.A. Mellichamp, and F.J. Doyle, *Process Dynamics and Control*, 4th edition, Wiley, 2017.

IV. Rancangan Tugas dan Latihan

Minggu Ke	Nama Tugas	Sub-CPMK	Penugasan	Ruang Lingkup	Cara Pengerjaan	Batas Waktu	Luaran Tugas yang Dihasilkan
1	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	1	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
2	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	2	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
3	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	3	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
4	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	4	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
5	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	5	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
6	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	6	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
7	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	7	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
9	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	8	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
10	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	9	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program

11	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	10	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
12	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	11	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
13	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	11	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
14	Kuis di kelas, Tugas PR dan simulasi	12	Soal	Meringkas pokok bahasan Melakukan simulasi	Mandiri	1 minggu	Hasil kuis di kelas, Rancangan Program
15	Tugas Proyek	13	Proyek Akhir	Merancang alat	Kelompok	1 minggu	<i>Power point mahasiswa,</i> hasil presentasi, lembar tugas mandiri

V. Kriteria Penilaian (Evaluasi Hasil Pembelajaran)

Bentuk Evaluasi	Sub CPMK	Instrumen/Jenis Asesmen	Frekuensi	Bobot Evaluasi (%)
Kuis di kelas	1 - 7 & 8 - 12	Lembar Evaluasi	6	10
Tugas PR dan simulasi	2 - 12	Lembar Evaluasi	12	10
Tugas Proyek/ Kelompok	13	Lembar Evaluasi	1	20
Ujian 1	1 - 7	Soal Ujian Esay	1	30
Ujian 2	8 - 12	Soal Ujian Esay	1	30
Total				100

VI. Rubrik

A. Kriteria Nilai Presentasi

Nilai	Penyampaian Presentasi
85-90	Kelompok mampu menyampaikan penjelasan secara logis, lancar, dan tepat waktu serta mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan dari rekan mahasiswa maupun pengajar
75-84	Kelompok mampu menyampaikan penjelasan secara logis dan lancar dan dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan dari rekan mahasiswa maupun pengajar, tetapi kurang dapat mengatur waktu dengan baik
65-74	Kelompok mampu menyampaikan penjelasan secara lancar tetapi kurang dapat menyampaikan logika penalarannya
55-64	Kelompok kurang mampu menyampaikan penjelasan secara lancar dan tepat waktu dan kurang dapat menyampaikan logika penalarannya
<55	

B. Kriteria Nilai Esai

Nilai	Kualitas Jawaban
100	Jawaban sangat tepat, semua pengertian dan komponen utama lengkap
76-99	Jawaban cukup tepat, pengertian dan komponen utama hampir lengkap
51-75	Jawaban kurang tepat, pengertian dan komponen utama kurang lengkap
26-50	Jawaban sangat kurang tepat, pengertian dan komponen utama sangat kurang lengkap
<25	Jawaban salah

Lampiran 1 . Contoh Soal Kuis

1. Sebutkan dua fungsi yang dapat dilakukan komputer digital bila digunakan bersama umpan balik sistem kontrol.
2. Terdiri dari apa saja model blok diagram komputer?
3. Apakah yang dimaksud dengan z-transform?
4. Apa yang disebut inverse z-transform dari suatu bentuk gelombang waktu?
5. Sebutkan dua metode untuk menemukan inversi z-transform!
6. Metode apa untuk menemukan inverse z-transform menghasilkan ekspresi bentuk tertutup untuk fungsi waktu?