

Bab I

Deskripsi Mata Kuliah

1.1. Identitas Mata Kuliah

Judul mata kuliah : Teori dan Praktikum Cyber Physical Systems

Nomor Kode / SKS : VI200022 & VI200023 / 1

Semester/Tingkat : 3/2

Prasyarat :

- a. Arsitektur komputer
- b. Sistem operasi
- c. Sistem benam
- d. Sistem kontrol digital
- e. Jaringan komputer

Jumlah jam/minggu : 2/2 & 3/1

1.2. Ringkasan Silabus

Teori dan Praktikum Cyber-Physical Systems merupakan mata kuliah teori dan praktikum yang menggabungkan perangkat komputasi benam (embedded computation devices), obyek pintar (smart objects), manusia dan lingkungan fisik, yang umumnya diikat dengan infrastruktur komunikasi.

1.3. Kompetensi Khusus

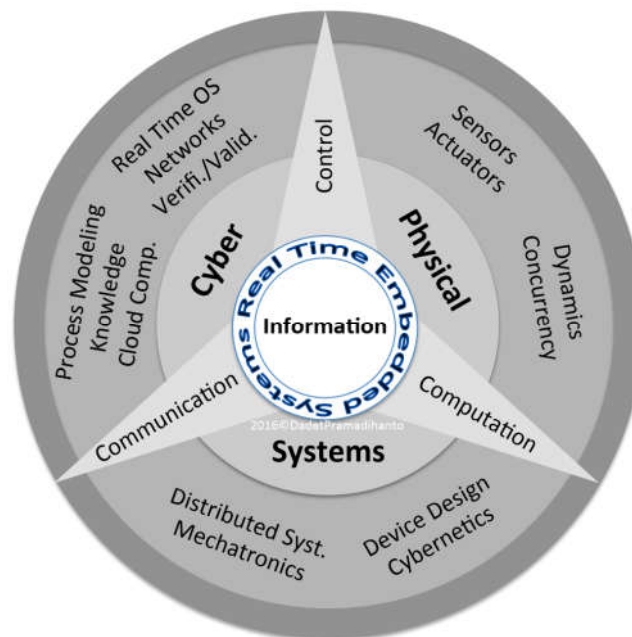
- a. Mahasiswa memahami dan mampu menghubungkan antara bidang arsitektur komputer dan pemrograman.
- b. Mahasiswa mampu mendesain dan membuat sebuah aplikasi berdasarkan timeline, penyusunan dan prediksi dan mampu mengimplementasikannya dalam desain arsitektur komputer.
- c. Mahasiswa mampu menganalisa dan memanfaatkan potensi skill dalam melakukan penelitian dan pengembangan dalam bidang cyber-physical systems.

1.4. Kompetensi Umum

Mahasiswa mengetahui dan memahami tantangan utama, desain metodologi dan arah penelitian dalam bidang cyber-physical systems dengan penguatan pada desain arsitektur komputer.

1.5. Ringkasan Mata Kuliah

Cyber-Physical Systems (CPS) muncul dari penggabungan antara perangkat komputasi benam (embedded computation devices), obyek pintar (smart objects), manusia dan lingkungan fisik, yang umumnya diikat dengan infrastruktur komunikasi. Aplikasi dari CPS termasuk sistem kendaraan generasi terbaru, proses kontrol, robot terdistribusi dan lain-lain. Hal ini juga termasuk sistem seperti *smart city*, *smart grid*, *smart factory*, *smart buildings*, *smart homes* dan kendaraan pintar. Keseluruhan sistem memerlukan keamanan dan *real-time* yang harus dipenuhi: komputasi harus maju secara paralel dengan proses fisik dalam lingkungan, dan gangguan sistem dapat memicu konsekuensi bencana/kegagalan/kehancuran besar.



Gambar 1. Cyber-Physical Systems

Mata kuliah ini mencakup konsep, teori dan isu penelitian dalam sistem benam yang kritis terhadap keamanan dan sistem fisik-maya, dengan sebuah fokus pada desain arsitektur dan analisa dari perangkat keras dan perangkat lunak sistem komputasi. Topik meliputi: tantangan dalam mendesain CPS, arsitektur komputer yang dapat diprediksi, penjadwalan resource perangkat keras, sistem operasi untuk CPS, analisa pewaktuan dan kinerja, pemodelan dan verifikasi, serta aplikasi CPS.

Bab II

Kompetensi Umum dan Khusus

Kompetensi Umum		Kompetensi Khusus	
1	Mahasiswa mengetahui dan memahami tantangan utama dalam CPS	1.1	Mahasiswa mampu menemukan permasalahan dalam lingkungan yang dapat diangkat sebagai problem riil
		1.2	Mahasiswa mampu mengkaitkan problem yang dihadapi dan memastikan bahwa CPS dapat digunakan sebagai solusi
		1.3	Mahasiswa mampu memperkirakan / memprediksi tingkat kehandalan sistem yang akan dibuat
2	Mahasiswa mampu mendesain metodologi dalam CPS	2.1	Mahasiswa mampu mendesain langkah-langkah strategis penyelesaian permasalahan dari problem riil di lingkungan.
		2.2	Mahasiswa mampu melakukan analisa kebutuhan atas solusi yang diberikan
		2.3	Mahasiswa mampu mengeksekusi desain untuk dapat diimplementasikan langsung dalam menjawab tantangan / permasalahan
3	Mahasiswa mampu memverikasi sistem CPS	3.1	Mahasiswa mampu dan sanggup melakukan verifikasi sistem yang telah dibuat dengan pendekatan secara perangkat keras dan perangkat lunak, penjadwalan, dll.

Bab III

Kompetensi Khusus dan Pokok Bahasan

Kompetensi Khusus		Pokok Bahasan	
1.1	Mahasiswa mampu menemukan permasalahan dalam lingkungan yang dapat diangkat sebagai problem riil	1.1.1	Mahasiswa mencari dan menemukan sistem dinamis yang dapat diselesaikan dengan pendekatan kontrol yang terhubung dengan jaringan → <i>Networked control of dynamical system</i> dan <i>Remotely operated vehicle to locate water monitoring sensors</i>
1.2	Mahasiswa mampu mengkaitkan problem yang dihadapi dan memastikan bahwa CPS dapat digunakan sebagai solusi	1.2.1	Mahasiswa mampu memastikan bahwa sistem dinamis yang diangkat sebagai permasalahan dapat diketahui parameter-parameternya dengan memperhatikan <i>Mixed critically scheduling and RTOS</i>
1.3	Mahasiswa mampu memperkirakan / memprediksi tingkat kehandalan sistem yang akan dibuat	1.3.1	Mahasiswa mampu memprediksi secara tepat tingkat kehandalan sistem berdasarkan tinjauan <i>Performance analysis, computation model and verification of CPS</i>
2.1	Mahasiswa mampu mendesain langkah-langkah strategis penyelesaian permasalahan dari problem riil di lingkungan.	2.1.1	Mahasiswa mampu mendesain dan membuat langkah-langkah yang harus dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan sistem dinamis yang telah diangkat
2.2	Mahasiswa mampu melakukan analisa kebutuhan atas solusi yang diberikan	2.2.1	Mahasiswa mampu melakukan analisa kebutuhan atas desain langkah-langkah yang telah dibuat
2.3	Mahasiswa mampu mengeksekusi desain untuk dapat diimplementasikan langsung dalam menjawab tantangan / permasalahan	2.3.1	Mahasiswa mampu mengimplementasikan desain yang telah dirancang untuk direalisasikan guna menjawab tantangan / permasalahan
3.1	Mahasiswa mampu dan sanggup melakukan verifikasi sistem yang telah dibuat dengan pendekatan secara perangkat keras dan perangkat lunak, penjadwalan, dll.	3.1.1	Mahasiswa mampu dan dapat memverifikasi sistem yang telah dibuat menggunakan tinjauan <i>Mixed critically scheduling and RTOS</i> dan <i>Performance analysis, computation model and verification of CPS</i>

Bab IV

Pokok Bahasan dan Sub Pokok Bahasan

Pokok Bahasan	Sub Pokok Bahasan
Networked control of dynamical system	6 DoF ball balancing problem – modeling, desain, implementasi sistem benam, sensor, kontrol langsung atau kontrol melalui jaringan dan analisa kinerja
Remotely operated vehicle to locate water monitoring sensors	Remotely operated underwater vehicle – modeling, desain kontrol, sensor, implementasi sistem benam, pelibatan manusia dalam loop secara kabel dan nirkabel, parameter air, dan komunikasi data
Mixed critically scheduling and RTOS	Menggunakan 2 contoh diatas untuk menganalisa perbedaan kritikal pada sistem. Mengevaluasi algoritma penjadwalan pada sistem operasi real time (RTOS)
Performance analysis, computation model and verification of CPS	Evaluasi keseluruhan sistem CPS, verifikasi kinerja pewaktuan dan memonitor run-time perangkat keras

Bab V

Skema Hubungan Pokok Bahasan

Pada bab ini, akan dibahas tentang skema hubungan antar pokok bahasan dengan materi perkuliahan yang diberikan. Penjelasan akan disampaikan dalam bahasa Inggris untuk menghindari kerancuan maksud karena faktor translasi bahasa.

- **Introduction to CPS.** CPS as the next evolution of embedded systems. Key issues in CPS design: timing predictability, verification and certifiability, integration and composability, modeling and abstraction, commercial of the shelf (COTS) components and time-to-market. Overview of topics covered in the course. Research opportunities in CPS. Introduction to course project.
- **Modeling of Dynamics Systems: Continuous and Discrete Time.** Overview of Mathematics foundation for modeling dynamics systems. Some example on modeling of continuous system (mechanical, electrical, etc.) and discrete-event systems.
- **Introduction to Real-Time Systems.** Task model. Quality of service. Interplay between timing properties and digital control. Basic schedulability results. The worst-case execution problem. The end-to-end delay problem.
- **Applications of Cyber-Physical Systems.** Overview of CPS applications. IMA (Integrated Modular Avionics) design. Issues in ARINC 653. AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture). Further examples of medical systems, power grid control, monitoring applications.
- **Predictable Computer Architectures.** Impact of architectural features on predictability. Controllable pipelines. Cache partitioning strategies. Scratchpad memories. Bus scheduling. Network-on-chips and real-time. Predictable memory controllers. Heterogeneous systems (FPGA, GPGPU).
- **Predictable OS Abstractions.** Overview of Real-Time OS and Hypervisors. Interrupt scheduling. Hierarchical and component-based OS. Predictable task execution. Parallel execution models.
- **Timing and Performance Analysis.** Overview of static analysis methodologies. Measurement-based techniques. Cache, bus and memory analyses. Real-time queuing theory. Network calculus. Real-time calculus.
- **Introduction to Models of Computation and Verification for CPS.** Hybrid models. Timing verification. Hardware run-time monitoring. Tools and architectural description languages.

- **Human-in-the-loop Cyber-Physical-Systems.** Efficient embedded system design. Cognitive intent detection algorithms using brain or other neurophysiological signals. Actuator and robotics to realize an intended outcome or effect in the physical world. Distributed sensor architectures with suitable, power-efficient communication mechanisms.

Laboratory Projects

- **Networked Control of Dynamical System** (6 DoF Ball Balancing Problems). Systems modeling, control design, embedded system implementation, sensing (IMU and capacitive/resistive planar sensor, etc.), implementation of direct control and control over networks, and performance analysis.
- **Remotely Operated Vehicle to Locate Water Monitoring Sensors.** System modeling, control design, sensing using IMU, embedded systems implementation, wired and wireless human-in-the-loop operation of ROV, sensing of water parameters, and sensing data communication to server.
- **Mixed Criticality Scheduling and RTOS.** Based on the two examples of CPS above, we analyze the different criticality on the systems (mixed criticality). How we evaluate the scheduling algorithm, which involve the mixed criticality, and how we implement it on the RTOS to guarantee the mixed deadline.
- **Performance Analysis, Computation Model and Verification of CPS.** Evaluation of the above CPS's, and perform timing verification and hardware run time monitoring.

Bab VI

Kriteria Penilaian Hasil Pembelajaran

Table 1. Course Assessment Matrix and Weekly Course Schedule (see Table 2.)

Week	Learning Objectives	Outcome Criteria						
		a	b	c	d	e	f	g
In Class Activities (3 hour / Week)								
1	Introduction to CPS: CPS as the next evolution of embedded systems. Key issues in CPS design: timing predictability, verification and certifiability, integration and composability, modeling and abstraction, COTS components and time-to-market. Overview of topics covered in the course. Research opportunities in CPS. Introduction to course project			2	2			1
2	Modeling of Dynamics Systems: Continuous and Discrete Time. Overview of Mathematics foundation for modeling dynamics systems. Some example on modeling of continuous system (mechanical, electrical, etc.) and discrete-event systems	3						
3 - 4	Introduction to Real Time Systems. Task model. Quality of service. Interplay between timing properties and digital control. Basic schedulability results. The worst-case execution problem. The end-to-end delay problem	3		2				
5	Application of Cyber-Physical Systems. Overview of CPS applications. IMA (Integrated Modular Avionics) design. Issues in ARINC 653. AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture). Further examples of medical systems, power grid control, monitoring applications	3		3	3			1
6 - 7	Predictable Computer Architecture. Impact of architectural features on predictability. Controllable pipelines. Cache partitioning strategies. Scratchpad memories. Bus scheduling. Network-on-chips and real-time. Predictable memory controllers. Heterogeneous systems (FPGA, GPGPU)	3		2				1
9	Midterm Exam							

10-11	Predictable OS Abstraction. Overview of Real-Time OS and Hypervisors. Interrupt scheduling. Hierarchical and component-based OS. Predictable task execution. Parallel execution models	3		2					1
12-13	Timing and Performance Analysis. Overview of static analysis methodologies. Measurement-based techniques. Cache, bus and memory analyses. Real-time queuing theory. Network calculus. Real-time calculus	3		2					
14-15	Introduction of Model of Computation and Verification for CPS. Hybrid models. Timing verification. Hardware run-time monitoring. Tools and architectural description languages	3		2					
16	Human-In-The-Loop Cyber-Physical-Systems. Efficient embedded system design. Cognitive intent detection algorithms using brain or other neurophysiological signals. Actuator and robotics to realize an intended outcome or effect in the physical world. Distributed sensor architectures with suitable, power-efficient communication mechanisms	3		2					
8 & 17	Student Presentation. Student reading, present and discuss two journal paper on CPS	3				3			2
18	Final Exam								
In Laboratory Activities (3 hours / Week)									
1 - 4	Project 1: Networked Control of Dynamical System (6 DoF Ball Balancing Problems)	3	3	2	1	2	2	3	
5 - 8	Project 2: Remotely Operated Vehicle to Locate Water Monitoring Sensors	3	3	2	3	2	2	3	
10 - 13	Project 3: Mixed Criticality Scheduling and RTOS	3	3	2	1	2	2	3	
14 - 17	Project 4: Performance Analysis, Computation Model and Verification of CPS	3	3	2	3	2	2	3	

Table 2. Outcome Criteria

Outcome	Criteria
a	Ability to apply mathematical, science, and engineering principles to the identification, formulation, and solution of engineering problems
b	Ability to design and conduct experiment and to analyze and interpret data using modern engineering tools and techniques
c	Ability to design a system, component, or processes and products to meet desired needs
d	Ability to analyze important social and environmental problems and identify and discuss ways that engineers might contribute to solutions, including technological, economic, and ethical considerations in the analysis.
e	Ability to communicate effectively in both writing and speaking in a variety of professional contexts
f	Ability to function effectively in both single-discipline and multidiscipline teams
g	Recognition of need for and ability to engage in lifelong learning
Note: 1 = Objective addresses outcome slightly, 2 = moderately, 3 = substantively	