

# **Pedoman Standar Minimum Laboratorium (SML) Pendidikan Teknik Mesin Berbasis Capaian Pembelajaran**

*Menuju Laboratorium Teknik Mesin yang Mendukung  
Pembelajaran Berkualitas*

Versi 6 Oktober 2025



**Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia**

## Kata Sambutan

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas tersusunnya pedoman Standar Minimum Laboratorium (SML) untuk program studi Teknik Mesin jenjang sarjana. Dokumen ini merupakan hasil kolaborasi dan pemikiran kolektif dari para akademisi dan praktisi yang tergabung dalam Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia (BKSTM), yang telah melalui proses kajian mendalam terhadap kurikulum inti, capaian pembelajaran lulusan, serta kebutuhan nyata di dunia pendidikan dan industri.

Laboratorium merupakan jantung dari pembelajaran teknik. Melalui kegiatan praktikum, mahasiswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mengembangkan keterampilan analitis, eksperimental, dan desain yang menjadi ciri khas seorang sarjana teknik. Oleh karena itu, penyusunan Pedoman Standar Minimum Laboratorium ini menjadi langkah strategis untuk memastikan bahwa seluruh program studi Teknik Mesin di Indonesia memiliki acuan yang jelas dan terukur dalam membangun dan mengelola fasilitas laboratorium yang mendukung pembelajaran berkualitas.

Pedoman ini juga diharapkan dapat menjadi rujukan dalam proses akreditasi, pengembangan kurikulum, serta perencanaan pengadaan sarana dan prasarana laboratorium. Pedoman SML ini diharapkan juga agar mampu mendorong peningkatan mutu pendidikan teknik mesin secara berkelanjutan dan merata di seluruh tanah air.

Kami menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada tim penyusun, para kontributor, dan seluruh pihak yang telah memberikan masukan dan dukungan dalam penyusunan pedoman ini. Semoga pedoman ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi kemajuan pendidikan teknik mesin di Indonesia.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Depok, 6 Oktober 2025

Prof. Ario Sunar Baskoro

Sekretaris Jenderal Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia

## Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas tersusunnya Pedoman Standar Minimum Laboratorium (SML) untuk program studi Teknik Mesin jenjang sarjana. Pedoman ini merupakan hasil kerja bersama para akademisi yang tergabung dalam Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia (BKSTM), sebagai bagian dari upaya peningkatan mutu pendidikan teknik mesin secara nasional.

Penyusunan Pedoman SML ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan acuan yang jelas dan terstandarisasi dalam penyediaan fasilitas laboratorium yang mendukung capaian pembelajaran lulusan (CPL) sesuai dengan kurikulum inti BKSTM dan standar nasional pendidikan tinggi. Laboratorium tidak hanya berfungsi sebagai tempat praktik, tetapi juga sebagai wahana pembentukan kompetensi analitis, eksperimental, dan desain yang esensial bagi seorang sarjana teknik. Pedoman ini diharapkan dapat dijadikan sebagai rujukan dalam proses akreditasi, pengembangan kurikulum, dan perencanaan pengadaan sarana laboratorium.

Kami menyadari bahwa pedoman ini masih memerlukan untuk disempurnakan. Oleh karena itu, kami membuka ruang bagi masukan dan saran dari berbagai pihak demi penyempurnaan dan relevansi berkelanjutan terhadap perkembangan teknologi dan kebutuhan industri.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim penyusun, kontributor, dan pihak yang telah mendukung penyusunan pedoman ini. Semoga Pedoman SML ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan pendidikan teknik mesin di Indonesia.

Bandung, 6 Oktober 2025

Tim Penyusun

Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia

## Tim Penyusun

Ketua: Sri Raharno – Institut Teknologi Bandung

Anggota:

- Gatot Santoso – Universitas Pasundan
- Kifli Umar – Universitas Khairun
- Fajar Perdana Nurullah – Institut Teknologi Sumatera
- Berli Paripurna Kamil – Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Sugiharto – Universitas Pasundan

## Ringkasan Eksekutif

Pedoman Standar Minimum Laboratorium (SML) ini disusun sebagai acuan nasional dalam pengelolaan laboratorium pendidikan teknik mesin jenjang sarjana, dengan tujuan utama menjamin bahwa fasilitas laboratorium yang tersedia di setiap program studi teknik mesin mampu mendukung pencapaian Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) dan Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) secara efektif, aman, dan terukur. Laboratorium pendidikan teknik bukan sekadar ruang praktik, melainkan merupakan wahana pembentukan kompetensi teknis, analitis, eksperimental, dan desain yang menjadi ciri khas lulusan teknik mesin. Dokumen ini menguraikan pendekatan sistematis yang dimulai dari pemetaan kebutuhan praktikum berdasarkan kurikulum inti BKSTM, penjabaran CPMK yang relevan, penyusunan bahan kajian praktikum, hingga penetapan kebutuhan peralatan minimum yang mendukung pelaksanaan praktikum secara langsung.

Selain aspek teknis, pedoman ini juga mencakup pengelolaan fasilitas laboratorium secara menyeluruh, termasuk rasio alat terhadap jumlah mahasiswa, persyaratan luas ruang kerja, sistem inventarisasi, pemeliharaan dan kalibrasi alat, penjadwalan penggunaan, serta penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Dalam hal sumber daya manusia, dokumen ini menetapkan struktur organisasi laboratorium yang mencakup peran kepala laboratorium, teknisi, laboran, dan asisten praktikum, lengkap dengan rasio kebutuhan personel berdasarkan jumlah mahasiswa per sesi. Untuk menjamin kompetensi asisten praktikum, disusun pula pedoman pelatihan dan sertifikasi yang mencakup aspek teknis, keselamatan kerja, dan pendekatan pedagogis.

Strategi penyediaan peralatan laboratorium juga dijelaskan melalui pendekatan bertahap dan modular, serta membuka ruang bagi kerja sama lintas program studi, lintas fakultas, dan dengan mitra industri. Selain itu, melalui pendekatan berbasis CPMK dan pengelolaan laboratorium yang terstruktur, SML ini diharapkan dapat menjadi pijakan kokoh bagi institusi pendidikan teknik mesin dalam merancang, mengembangkan, dan mengelola laboratorium pendidikan yang unggul, adaptif, dan berdaya saing.

## Daftar Isi

Kata Sambutan.....	1
Kata Pengantar .....	2
Tim Penyusun.....	3
Ringkasan Eksekutif.....	4
Daftar Isi.....	5
Bab 1 Pendahuluan.....	7
1.1 Latar Belakang.....	7
1.2 Tujuan Penyusunan Pedoman.....	8
1.3 Ruang Lingkup.....	9
Bab 2 Pemetaan Kebutuhan Laboratorium .....	10
2.1 Landasan Konseptual .....	10
2.2 Metodologi Penyusunan SML.....	11
2.3 Pemetaan Praktikum .....	13
2.4 Profil Kebutuhan Praktikum per Mata Kuliah.....	14
2.4.1 Fisika.....	14
2.4.2 Material Teknik .....	17
2.4.3 Mekanika Kekuatan Bahan .....	19
2.4.4 Getaran Mekanik .....	21
2.4.5 Termodinamika .....	23
2.4.6 Mekanika Fluida .....	25
2.4.7 Perpindahan Panas.....	27
2.4.8 Teknik Tenaga Listrik .....	28
2.4.9 Proses Manufaktur .....	31
2.4.10 Mesin Konversi Energi .....	33
2.4.11 Menggambar Mesin .....	36
2.4.12 Mekatronika .....	38
2.4.13 Pengukuran Teknik/Metrologi .....	40
2.4.14 Capstone Design .....	43
Bab 3 Pengelolaan Peralatan Praktikum.....	46

3.1 Tujuan Pengelolaan Peralatan Praktikum .....	46
3.2 Prosedur Pengadaan Peralatan .....	46
3.3 Inventarisasi dan Penandaan .....	47
3.4 Pemeliharaan dan Kalibrasi .....	48
3.5 Penggunaan dan Penjadwalan .....	49
3.6 Persyaratan Luas dan Tata Ruang Laboratorium Praktikum .....	49
3.7 Jumlah dan Rasio Peralatan Praktikum .....	50
3.8 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).....	51
3.9 Kebutuhan dan Peran Sumber Daya Manusia Laboratorium .....	52
3.10 Pedoman Pelatihan dan Sertifikasi Asisten Praktikum.....	55
3.11 Strategi Penyediaan Peralatan Laboratorium .....	56
Bab 4 Penutup .....	58

# Bab 1 Pendahuluan

## 1.1 Latar Belakang

Dalam konteks pendidikan tinggi teknik mesin, laboratorium merupakan komponen fundamental yang berfungsi sebagai jembatan antara teori yang diajarkan di ruang kuliah dan praktik nyata yang dihadapi dalam dunia industri maupun penelitian. Pendidikan teknik tidak hanya bertujuan membekali mahasiswa dengan pengetahuan konseptual, tetapi juga menuntut penguasaan keterampilan teknis, kemampuan analitis, dan kompetensi dalam menerapkan prinsip-prinsip rekayasa secara sistematis. Dengan demikian, laboratorium menjadi sarana utama untuk menginternalisasi konsep-konsep teknik melalui pendekatan berbasis pengalaman langsung (*experiential learning*).

Laboratorium teknik mesin mencakup berbagai bidang seperti mekanika fluida, termodinamika, material teknik, mekanika teknik, manufaktur, dan sistem kontrol. Setiap laboratorium dirancang agar dapat mendukung pembelajaran berbasis eksperimen, pengukuran, analisis data, dan interpretasi hasil secara ilmiah. Melalui kegiatan laboratorium, mahasiswa dilatih untuk memahami karakteristik sistem fisik, mengoperasikan peralatan teknik, menerapkan metode pengujian standar, serta mengembangkan solusi terhadap permasalahan teknik yang kompleks. Hal ini sejalan dengan tuntutan dunia kerja yang mengharuskan lulusan teknik memiliki kompetensi praktis dan kemampuan *problem solving* berbasis data dan fakta empiris.

Lebih jauh, laboratorium berperan krusial dalam mendukung pencapaian capaian pembelajaran lulusan (CPL) yang telah dirumuskan dalam kurikulum berbasis *outcome*. Beberapa CPL yang relevan dengan kegiatan laboratorium antara lain adalah kemampuan menerapkan pengetahuan matematika, sains, dan rekayasa untuk menyelesaikan masalah teknik; kemampuan merancang dan melakukan eksperimen serta menganalisis dan menginterpretasikan data; kemampuan menggunakan teknik, keterampilan, dan alat modern yang diperlukan dalam praktik rekayasa; serta kemampuan bekerja dalam tim multidisiplin dan berkomunikasi secara efektif. Tanpa keterlibatan aktif dalam kegiatan laboratorium, pencapaian CPL tersebut akan sulit diukur secara objektif dan komprehensif.

Selain itu, laboratorium juga berfungsi sebagai platform untuk pengembangan *soft skills* seperti disiplin kerja, manajemen waktu, dokumentasi teknis, dan etika profesi. Dalam beberapa kasus, laboratorium menjadi bagian integral dari proyek desain (*capstone design*), tugas akhir, maupun penelitian mahasiswa, sehingga memperkuat keterkaitan antara pembelajaran akademik dan penerapan nyata dalam konteks profesional. Oleh karena itu, pengelolaan laboratorium harus dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan, mencakup aspek kurikulum, sumber daya manusia, peralatan, sistem keselamatan kerja, serta integrasi dengan sistem penjaminan mutu akademik.

Dengan demikian, laboratorium bukan hanya fasilitas pendukung, melainkan merupakan instrumen strategis dalam membentuk lulusan teknik mesin yang kompeten, adaptif, dan siap menghadapi tantangan teknologi masa depan. Penguatan fungsi laboratorium dalam pendidikan teknik mesin merupakan langkah esensial untuk memastikan bahwa proses pembelajaran tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga aplikatif dan relevan dengan kebutuhan industri dan masyarakat.

## 1.2 Tujuan Penyusunan Pedoman

Pedoman ini disusun sebagai dokumen acuan nasional yang menetapkan Standar Minimum Laboratorium (SML) untuk program studi teknik mesin di Indonesia. SML ini dirancang sebagai batas paling rendah yang mesti dipenuhi oleh setiap program studi dalam menyediakan dan mengelola laboratorium pendidikan, agar dapat menjamin penyelenggaraan pembelajaran berbasis praktik dan proyek secara efektif, aman, dan sesuai dengan prinsip rekayasa. Dalam konteks pendidikan teknik yang berbasis capaian, laboratorium merupakan komponen krusial yang berkontribusi langsung terhadap pencapaian Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) dan Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL).

Tujuan utama dari penyusunan pedoman ini adalah untuk:

1. Menetapkan standar minimum penyediaan peralatan laboratorium pendidikan teknik mesin, baik dari segi jenis, fungsi, maupun kelayakan operasional, agar seluruh program studi memiliki acuan yang seragam dalam memenuhi persyaratan dasar pembelajaran berbasis praktik.
2. Menyusun prinsip-prinsip pengelolaan laboratorium pendidikan yang mencakup aspek keselamatan kerja, pemeliharaan peralatan, dokumentasi kegiatan, dan integrasi dengan kurikulum, sehingga laboratorium dapat berfungsi optimal sebagai wahana pembelajaran dan asesmen.
3. Menyediakan kerangka pelaksanaan Capstone Design sebagai proyek akhir yang mengintegrasikan pengetahuan, keterampilan, dan sikap profesional mahasiswa dalam menyelesaikan permasalahan teknik secara komprehensif dan multidisiplin.
4. Memfasilitasi pencapaian CPMK minimum yang relevan dengan kegiatan laboratorium dan Capstone Design, seperti kemampuan merancang dan melaksanakan eksperimen, menganalisis data teknik, menerapkan metode rekayasa, bekerja dalam tim, dan berkomunikasi secara profesional.
5. Mendukung asesmen berbasis kinerja yang objektif dan terukur, dengan indikator yang merujuk pada CPMK dan CPL, baik dalam bentuk laporan teknis, prototipe, presentasi, maupun dokumentasi proyek.
6. Mendorong pendekatan pembelajaran aktif dan berbasis pengalaman langsung, seperti experiential learning dan project-based learning, yang relevan dengan tantangan teknologi dan kebutuhan industri masa kini.

7. Meningkatkan mutu pendidikan teknik mesin di Indonesia secara sistemik, melalui penerapan SML sebagai instrumen penjaminan mutu internal dan eksternal, serta sebagai referensi dalam proses akreditasi, evaluasi kurikulum, dan pengembangan sumber daya pembelajaran.

Dengan adanya pedoman ini, program studi teknik mesin di seluruh Indonesia diharapkan memiliki acuan yang jelas, terukur, dan dapat diimplementasikan secara konsisten dalam pengelolaan laboratorium dan pelaksanaan Capstone Design. Penerapan SML ini akan memperkuat kontribusi laboratorium terhadap pencapaian CPMK minimum, sekaligus menjadi fondasi dalam upaya peningkatan mutu pendidikan teknik mesin secara nasional, berorientasi pada kompetensi lulusan yang unggul, adaptif, dan siap menghadapi tantangan teknologi masa depan.

### 1.3 Ruang Lingkup

Pedoman ini secara khusus mengatur standar minimum laboratorium pendidikan dalam lingkup program studi sarjana teknik mesin. Fokus utama pedoman ini adalah pada laboratorium yang digunakan untuk kegiatan pembelajaran dan pengembangan kompetensi mahasiswa, bukan laboratorium riset atau penelitian dosen. Laboratorium pendidikan yang dimaksud mencakup fasilitas, peralatan, dan sistem pendukung yang digunakan secara langsung dalam proses pembelajaran berbasis praktik, baik dalam bentuk eksperimen, pengujian, maupun proyek rekayasa seperti Capstone Design. Pedoman ini tidak mencakup laboratorium riset yang berorientasi pada publikasi ilmiah atau pengembangan teknologi oleh sivitas akademika, kecuali jika laboratorium tersebut juga digunakan secara aktif dalam kegiatan pembelajaran mahasiswa.

Ruang lingkup pedoman ini terbatas pada jenjang program sarjana (S1) teknik mesin, dan tidak berlaku untuk program diploma, magister, atau doktor. Hal ini sejalan dengan karakteristik capaian pembelajaran pada tingkat sarjana yang menekankan pada penguasaan dasar-dasar teknik, keterampilan praktis, dan kemampuan menerapkan prinsip rekayasa dalam konteks nyata. Oleh karena itu, seluruh standar, prosedur, dan rekomendasi yang tercantum dalam pedoman ini dirancang untuk mendukung pencapaian Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) minimum yang relevan dengan pembelajaran berbasis laboratorium dan proyek akhir mahasiswa. Dengan ruang lingkup yang terfokus ini, pedoman diharapkan dapat menjadi acuan nasional yang praktis, terukur, dan dapat diimplementasikan secara konsisten oleh seluruh program studi teknik mesin di Indonesia.

## Bab 2 Pemetaan Kebutuhan Laboratorium

Penyusunan Standar Minimum Laboratorium (SML) merupakan langkah strategis dalam menjamin mutu proses pembelajaran di program studi Teknik Mesin. Tujuan utama dari pemetaan kebutuhan laboratorium ini adalah untuk memastikan bahwa setiap capaian pembelajaran mata kuliah (CPMK) yang mensyaratkan keterampilan praktis dapat difasilitasi secara optimal melalui sarana dan prasarana laboratorium yang memadai. Dengan demikian, pemetaan ini tidak hanya bersifat administratif, tetapi juga menjadi fondasi penting dalam perencanaan pengembangan laboratorium yang berbasis kebutuhan kurikulum.

Penyusunan SML ini secara khusus didasarkan pada Kurikulum Inti BKSTM, yang telah dirancang untuk mencerminkan capaian pembelajaran lulusan (CPL) sesuai dengan standar nasional pendidikan tinggi dan kebutuhan dunia kerja. Kurikulum Inti BKSTM menjadi acuan utama dalam mengidentifikasi mata kuliah yang mengandung unsur praktikum, serta dalam menetapkan CPMK minimum yang relevan dengan kegiatan laboratorium. Berangkat dari struktur kurikulum yang telah disepakati secara nasional, SML yang disusun tentu memiliki legitimasi akademik yang kuat dan dapat digunakan sebagai rujukan lintas institusi dalam pengembangan laboratorium Teknik Mesin. Pendekatan ini juga memastikan bahwa laboratorium yang dirancang tidak hanya memenuhi standar teknis minimum, tetapi juga benar-benar mendukung pencapaian kompetensi lulusan secara menyeluruh, sesuai dengan arah dan tujuan pendidikan teknik yang telah ditetapkan dalam Kurikulum Inti BKSTM.

### 2.1 Landasan Konseptual

Penyusunan Spesifikasi Minimum Laboratorium (SML) merupakan bagian integral dari upaya penjaminan mutu pembelajaran di program studi Teknik Mesin. Tujuan utama dari pemetaan kebutuhan laboratorium adalah untuk memastikan bahwa setiap Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) yang memerlukan keterampilan praktis dapat difasilitasi secara optimal melalui kegiatan praktikum yang didukung oleh sarana dan prasarana laboratorium yang memadai. Dengan demikian, pemetaan ini menjadi dasar dalam perencanaan pengembangan laboratorium yang selaras dengan kebutuhan kurikulum dan strategi pencapaian pembelajaran.

Laboratorium memiliki peran sentral dalam mendukung pencapaian CPMK, khususnya yang berkaitan dengan keterampilan teknis, kemampuan analitis, dan pemahaman konseptual yang tidak dapat dicapai secara efektif melalui pembelajaran teoritis semata. Praktikum yang dilaksanakan di laboratorium memungkinkan mahasiswa untuk mengamati, menguji, dan menganalisis fenomena teknik secara langsung, sehingga memperkuat integrasi antara teori dan praktik. Lebih jauh, ketercapaian CPMK yang berbasis praktikum juga berkontribusi langsung terhadap pencapaian Capaian

Pembelajaran Lulusan (CPL), terutama dalam aspek keterampilan kerja, penguasaan pengetahuan, dan sikap profesional.

Keterkaitan antara kurikulum, praktikum, dan sarana laboratorium bersifat sistemik dan saling menguatkan. Kurikulum yang dirancang dengan pendekatan berbasis capaian pembelajaran harus diikuti dengan penyediaan modul praktikum yang relevan dan didukung oleh fasilitas laboratorium yang sesuai. Tanpa dukungan sarana yang memadai, pelaksanaan praktikum berisiko tidak efektif, yang pada akhirnya dapat menghambat pencapaian CPMK dan CPL. Oleh karena itu, pemetaan kebutuhan laboratorium dilakukan dengan menelusuri keterkaitan antara mata kuliah inti, CPMK yang memerlukan praktikum, modul praktikum yang dibutuhkan, serta peralatan minimum yang harus tersedia untuk menjamin mutu pelaksanaan praktikum.

Dalam konteks tersebut, Standar Minimum Laboratorium (SML) didefinisikan sebagai seperangkat spesifikasi dasar mengenai sarana, prasarana, dan perangkat pendukung yang wajib tersedia untuk menjamin terselenggaranya kegiatan praktikum secara efektif dan efisien. SML disusun berdasarkan analisis kebutuhan praktikum dari mata kuliah inti yang mensyaratkan keterampilan teknis, serta mempertimbangkan keterbatasan sumber daya dan prinsip efisiensi pengelolaan laboratorium. SML tidak hanya mencakup daftar peralatan, tetapi juga mempertimbangkan aspek fungsionalitas, jumlah minimum unit, spesifikasi teknis, serta keterkaitannya dengan modul praktikum yang dirancang untuk mendukung kurikulum. Dengan adanya SML, program studi memiliki acuan yang jelas dalam merencanakan pengadaan, pemeliharaan, dan pengembangan laboratorium secara berkelanjutan.

## 2.2 Metodologi Penyusunan SML

Penyusunan Standar Minimum Laboratorium (SML) merupakan proses sistematis yang bertujuan untuk memastikan bahwa fasilitas laboratorium yang tersedia mampu mendukung pencapaian capaian pembelajaran secara optimal. Dalam kaitan dengan pengembangan laboratorium berbasis Kurikulum Inti BKSTM, metodologi ini dirancang untuk mengidentifikasi kebutuhan laboratorium secara langsung dari struktur kurikulum. Pendekatan ini menekankan keterkaitan antara kebutuhan akademik dan spesifikasi teknis fasilitas, sehingga laboratorium yang dirancang tidak hanya memenuhi standar minimum, tetapi juga relevan dengan kompetensi yang harus dicapai.

Langkah pertama dalam metodologi ini adalah menelaah seluruh mata kuliah dalam kurikulum inti BKSTM yang secara eksplisit dinyatakan sebagai mata kuliah praktikum, mengandung unsur praktikum, atau diperkirakan akan memerlukan fasilitas workshop dalam pelaksanaannya. Penelaahan ini dilakukan dengan mengkaji deskripsi mata kuliah dan bahan kajian untuk mengidentifikasi potensi kebutuhan praktikum. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa seluruh aktivitas pembelajaran yang bersifat praktis terakomodasi dalam perencanaan fasilitas laboratorium.

Tahap berikutnya adalah penentuan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) minimum yang berkaitan langsung dengan kegiatan praktikum. CPMK merupakan turunan langsung dari Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL), yang menjadi rumusan kompetensi akhir yang harus dimiliki oleh mahasiswa setelah menyelesaikan seluruh program studi. CPL disusun berdasarkan Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI), standar nasional pendidikan tinggi, dan kebutuhan dunia kerja dan perkembangan keilmuan, serta telah ditetapkan dalam Kurikulum Inti BKSTM. Dalam struktur kurikulum, CPL berfungsi sebagai arah utama, sedangkan CPMK menjadi komponen operasional yang secara kumulatif membentuk pencapaian CPL. Oleh karena itu, setiap CPMK yang dirumuskan harus dapat ditelusuri keterkaitannya dengan satu atau lebih CPL, sehingga aktivitas pembelajaran di tingkat mata kuliah benar-benar berkontribusi terhadap profil lulusan yang diharapkan.

Dengan mengidentifikasi CPMK yang bersifat praktikum, akan dapat dipahami kompetensi apa saja yang harus dibentuk melalui kegiatan laboratorium, baik dari aspek kognitif, psikomotorik, maupun afektif. Untuk menjembatani antara CPMK dan kebutuhan fasilitas laboratorium, terdapat dua pendekatan utama yang dapat digunakan, yaitu melalui penyusunan bahan kajian praktikum atau langsung melalui modul praktikum. Kedua pendekatan ini memiliki karakteristik, kelebihan, dan keterbatasan masing-masing, serta memberikan dampak yang berbeda terhadap fleksibilitas program studi dalam merancang dan melaksanakan kegiatan praktikum. Perbandingan antara kedua pendekatan ini ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Analisis Pemilihan Bahan Kajian dengan Modul Praktikum

<b>Aspek</b>	<b>Bahan Kajian Praktikum</b>	<b>Modul Praktikum</b>
Fleksibilitas	Tinggi – dapat disesuaikan oleh masing-masing program studi	Rendah – sudah mengikat pada metode dan alat tertentu
Kemandirian Program Studi	Tinggi – memberi ruang inovasi dan adaptasi	Terbatas – mengikuti rancangan yang telah ditetapkan
Kejelasan Teknis	Umum – belum menjelaskan prosedur dan alat	Spesifik – menjelaskan langkah-langkah dan kebutuhan alat
Kesesuaian dengan SML	Cocok untuk tahap awal penyusunan standar	Cocok untuk tahap implementasi dan pengadaan
Potensi untuk Diversifikasi	Tinggi – dapat dikembangkan menjadi berbagai bentuk modul	Rendah – satu modul untuk satu pendekatan teknis
Kebutuhan Validasi Teknis	Rendah – karena belum menyentuh aspek operasional	Tinggi – harus diuji kesesuaian dengan fasilitas nyata

Dalam proses penyusunan Standar Minimum Laboratorium (SML) ini, bahan kajian praktikum dipilih sebagai penghubung antara CPMK dan kebutuhan fasilitas laboratorium, dibandingkan modul praktikum. Setelah CPMK minimum yang berkaitan dengan praktikum ditetapkan, bahan kajian disusun untuk menggambarkan ruang lingkup aktivitas praktikum yang perlu dijalankan guna mendukung pencapaian kompetensi mahasiswa. Bahan kajian ini bersifat konseptual dan umum, mencakup topik-topik atau area kompetensi yang harus dilatihkan, namun belum mengikat pada metode, alat, atau prosedur tertentu. Karena sifatnya yang fleksibel, bahan kajian memberi keleluasaan bagi program studi untuk merancang bentuk praktikum sesuai dengan kondisi lokal, pendekatan pedagogis, dan sumber daya yang tersedia.

Dalam konteks penyusunan kebutuhan peralatan laboratorium, bahan kajian dapat menjadi dasar yang cukup untuk mengidentifikasi jenis peralatan yang diperlukan, terutama pada tahap awal perencanaan. Misalnya, bahan kajian seperti “pengujian kekerasan material” secara langsung mengindikasikan perlunya alat uji kekerasan, meskipun jenis dan spesifikasinya masih terbuka untuk ditentukan. Dengan demikian, bahan kajian memungkinkan penyusunan daftar kebutuhan peralatan dalam bentuk generik, yang kemudian dapat dirinci lebih lanjut oleh masing-masing institusi sesuai dengan pendekatan teknis yang dipilih.

Namun, untuk mencapai tingkat presisi yang lebih tinggi dalam pengadaan atau pengembangan laboratorium, bahan kajian perlu dilengkapi dengan proses penjabaran teknis yang lebih rinci, baik melalui penyusunan modul praktikum oleh program studi, maupun melalui konsultasi teknis lintas institusi. Oleh karena itu, dalam kerangka metodologi SML, bahan kajian dapat dianggap sebagai tahap antara yang strategis dan cukup kuat untuk menyusun kebutuhan peralatan minimum, dengan tetap membuka ruang bagi fleksibilitas dan adaptasi lokal.

Dengan pendekatan semacam ini, SML yang disusun tetap berbasis kurikulum dan capaian pembelajaran, namun tidak membatasi inovasi dan otonomi akademik. Program studi dapat menyesuaikan bentuk praktikum dan spesifikasi alat sesuai dengan perkembangan teknologi, ketersediaan sumber daya, dan kebutuhan lokal, tanpa keluar dari koridor standar minimum yang telah ditetapkan. Hubungan yang erat antara CPL, CPMK, bahan kajian, dan kebutuhan laboratorium menjamin bahwa setiap fasilitas yang dirancang benar-benar mendukung pencapaian kompetensi lulusan secara menyeluruh dan berkelanjutan.

### 2.3 Pemetaan Praktikum

Sebagai bagian dari metodologi penyusunan Standar Minimum Laboratorium (SML), telah dilakukan penelaahan terhadap Kurikulum Inti BKSTM untuk mengidentifikasi mata kuliah yang memerlukan dukungan fasilitas laboratorium atau workshop. Hasil penelaahan menunjukkan bahwa terdapat sembilan mata kuliah yang secara eksplisit

dinyatakan memerlukan praktikum, yaitu **Fisika, Material Teknik, Getaran Mekanik, Termodinamika, Mekanika Fluida, Perpindahan Kalor dan Massa, Teknik Tenaga Listrik, Proses Manufaktur, dan Mesin Konversi Energi**. Mata kuliah ini secara langsung mensyaratkan pelaksanaan kegiatan praktikum sebagai bagian integral dari pencapaian capaian pembelajaran mata kuliah (CPMK).

Selain itu, terdapat empat mata kuliah yang diperkirakan memerlukan fasilitas laboratorium untuk mendukung pencapaian CPMK, meskipun tidak secara eksplisit dinyatakan sebagai mata kuliah praktikum. Mata kuliah tersebut adalah **Menggambar Mesin, Mekatronika, Capstone Design, dan Pengukuran Teknik/Metrologi**. Kebutuhan laboratorium pada mata kuliah ini bersifat kontekstual dan bergantung pada pendekatan pembelajaran yang diterapkan oleh masing-masing program studi.

Secara khusus, mata kuliah **Capstone Design** juga memerlukan fasilitas workshop, karena pelaksanaannya melibatkan kegiatan perancangan, fabrikasi, dan integrasi sistem yang bersifat multidisiplin dan berbasis proyek. Workshop diperlukan untuk mendukung proses iteratif desain dan prototyping yang menjadi inti dari pengalaman belajar dalam mata kuliah ini.

Identifikasi ini menjadi dasar penting dalam menyusun bahan kajian praktikum dan menetapkan kebutuhan fasilitas laboratorium secara terstruktur, sehingga SML yang disusun benar-benar mencerminkan kebutuhan riil dari kurikulum dan mendukung pencapaian kompetensi lulusan secara menyeluruh.

## 2.4 Profil Kebutuhan Praktikum per Mata Kuliah

Sebagai kelanjutan dari proses identifikasi mata kuliah yang memerlukan dukungan laboratorium dan workshop dalam Kurikulum Inti BKSTM, bagian ini menyajikan uraian detail mengenai masing-masing mata kuliah yang telah dikategorikan sebelumnya. Uraian ini mencakup keterkaitan antara Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) dan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) minimum yang relevan dengan kegiatan praktikum, serta penjabaran bahan kajian praktikum yang menjadi dasar konseptual dalam merancang aktivitas laboratorium. Selain itu, disajikan pula gambaran umum mengenai kebutuhan fasilitas laboratorium yang diperlukan untuk mendukung pelaksanaan praktikum secara efektif dan aman. Dengan menyajikan profil praktikum secara sistematis per mata kuliah, bagian ini bertujuan untuk memperkuat landasan akademik dalam penyusunan Standar Minimum Laboratorium (SML), serta memberikan acuan yang fleksibel bagi program studi dalam merancang dan mengimplementasikan kegiatan praktikum sesuai dengan kondisi lokal dan pendekatan pembelajaran masing-masing.

### 2.4.1 Fisika

Mata kuliah **Fisika** merupakan mata kuliah dasar yang wajib ditempuh oleh mahasiswa teknik sebagai fondasi pemahaman terhadap fenomena alam yang menjadi dasar

prinsip-prinsip rekayasa. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkuat keterkaitan antara teori dan aplikasi nyata melalui pengujian langsung terhadap hukum-hukum fisika yang relevan. Praktikum ini juga menjadi sarana penting dalam membentuk keterampilan ilmiah mahasiswa, seperti observasi, pengukuran, analisis data, dan pemecahan masalah.

Untuk mendukung pembentukan kompetensi lulusan yang utuh, mata kuliah Fisika diarahkan untuk memenuhi CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar fisika seperti mekanika, listrik, dan fluida yang relevan dengan bidang teknik.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu merancang, melaksanakan, dan menganalisis eksperimen fisika secara sistematis dan akurat.
- **(d) Analisis Masalah.** Mahasiswa mampu mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah berbasis fenomena fisika melalui pendekatan ilmiah dan kuantitatif.

Untuk mendukung CPL tersebut, telah menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mampu melakukan pengujian untuk memahami hukum Newton I dan II
2. Mampu melakukan pengujian untuk memahami hukum Hooke
3. Mampu melakukan pengujian viskositas untuk memahami hukum Stokes
4. Mampu melakukan pengujian untuk memahami hukum Ohm
5. Mampu melakukan pengujian untuk memahami hukum Kirchoff
6. Mampu melakukan pengujian untuk memahami hukum Archimides

Bahan kajian praktikum disusun untuk mendukung pencapaian CPMK dan CPL melalui kegiatan eksperimental yang terstruktur dan berulang guna memperkuat pemahaman:

- Analisis benda jatuh bebas
- Analisis gesekan pada benda kaku
- Analisis bandul sederhana
- Analisis hubungan beban dan pertambahan panjang pada pegas (Hukum Hooke)
- Analisis viskositas fluida (Hukum Stokes)
- Analisis rangkaian listrik (Hukum Ohm dan Kirchoff)
- Analisis gaya apung (Hukum Archimides)

Fasilitas laboratorium untuk praktikum Fisika harus mendukung pelaksanaan eksperimen secara aman, akurat, dan efisien. Peralatan harus memenuhi standar

pedagogis dan teknis, serta memungkinkan pengamatan dan pengukuran yang valid. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis.

Tabel 2.2 Kebutuhan Peralatan Praktikum Fisika

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Hukum Newton I & II	Pesawat Atwood	Stopwatch, Neraca, Set papan gesekan, Massa beban	Mengamati gerak benda dan gaya yang bekerja
Bandul Sederhana	Statif, Bola beban, Tali	Stopwatch, Busur derajat, Mistar	Menentukan periode dan konstanta gravitasi
Gesekan	Set papan gesekan	Massa beban, Stopwatch, Neraca	Menentukan koefisien gesekan statis dan kinetik
Hukum Hooke	Statif, Pegas, Beban	Mistar, Stopwatch	Menentukan konstanta pegas dan hubungan gaya-regangan
Hukum Stokes	Viskometer, Bola logam	Stopwatch, Micrometer sekrup, Neraca pegas, Hidrometer	Menentukan viskositas fluida berdasarkan gerak bola
Hukum Ohm	Papan rangkaian, Resistor, Multimeter	Kabel konektor, Hambatan geser, Baterai	Menentukan hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan
Hukum Kirchoff	Papan rangkaian, Resistor, Multimeter	Kabel konektor, Hambatan geser, Baterai	Menentukan arus dan tegangan pada rangkaian bercabang
Hukum Archimides	Tabung berpancuran, Gelas ukur, Neraca pegas	Statif, Beban 50 gram, Balok pendukung, Penggaris logam	Menentukan gaya apung dan volume benda terendam

Untuk memastikan mutu praktikum Fisika terus meningkat dan relevan dengan perkembangan teknologi serta kebutuhan pembelajaran modern, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Digitalisasi Alat Ukur.** Gunakan stopwatch digital, multimeter digital, dan sensor gerak untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pengambilan data.

2. **Integrasi Sensor dan IoT.** Tambahkan sensor tekanan, sensor gaya, dan sensor posisi berbasis IoT untuk eksperimen hukum Newton, Hooke, dan Archimides.
3. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan, pelaksanaan, dan pengawasan.
4. **Visualisasi dan Dokumentasi.** Gunakan kamera dan software analisis gerak untuk dokumentasi dan pembelajaran berbasis visual, terutama pada eksperimen dinamis.
5. **Kalibrasi dan Pemeliharaan Berkala.** Lakukan kalibrasi alat secara berkala dan pastikan alat dalam kondisi baik untuk menjaga validitas hasil eksperimen.
6. **Penggunaan Breadboard Modular dan Simulasi Digital.** Untuk hukum Ohm dan Kirchoff, gunakan breadboard modular dan software simulasi rangkaian untuk validasi hasil eksperimen dan pembelajaran berbasis simulasi.

#### 2.4.2 Material Teknik

Mata kuliah **Material Teknik** merupakan mata kuliah inti dalam pendidikan teknik yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman tentang sifat-sifat material dan perilakunya terhadap perlakuan mekanik, termal, dan kimia. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena-fenomena material melalui pengamatan langsung, dengan penekanan pada pemahaman konsep dan karakteristik material daripada akurasi data numerik.

Praktikum ini berfungsi sebagai sarana pembelajaran berbasis pengalaman, yang mana mahasiswa dapat mengamati, mendeskripsikan, dan menganalisis fenomena yang terjadi pada material saat dikenai perlakuan atau pengujian tertentu.

Praktikum Material Teknik mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar perilaku material dan pengaruh perlakuan terhadap sifat-sifatnya.
- **(b) Perancangan dan pengembangan solusi yang memperhatikan lingkungan dan keberlanjutan.** Mahasiswa mampu mempertimbangkan pemilihan material berdasarkan sifat dan dampaknya terhadap keberlanjutan.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu melaksanakan pengujian material dan menganalisis fenomena yang muncul secara sistematis.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Material Teknik menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mampu melakukan pengujian untuk memperoleh sifat-sifat material baik mekanik, fisik, kimia, maupun teknologi.

2. Mampu menerapkan metode pengujian untuk mengetahui sifat mekanik material beserta standar yang digunakan.
3. Mampu menerapkan metode pengujian untuk mengetahui sifat fisik material beserta standar yang digunakan.

Bahan kajian praktikum yang disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena material melalui pengujian langsung adalah sebagai berikut:

- Pengujian tarik pada material logam, membuat kurva tegangan-regangan, dan menganalisis hasil pengujian tarik.
- Pengujian impak pada material ferro dan non-ferro, membuat kurva harga impak vs temperatur, dan memahami temperatur transisi.
- Pengujian kekerasan dengan berbagai metode, konversi angka kekerasan, dan analisis hasil pengukuran.
- Pengujian mampu keras (Jominy test), pengaruh kecepatan pendinginan terhadap kekerasan material.
- Uji metalografi dari persiapan spesimen hingga pengamatan struktur mikro di bawah mikroskop.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum Material Teknik harus mendukung pengamatan fenomena material secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan lebih ditekankan pada **kemampuan menunjukkan fenomena** daripada menghasilkan data yang akurat sebagaimana dalam peralatan penelitian. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.3 Kebutuhan Peralatan Praktikum Material Teknik

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Pengujian Tarik	Mesin Uji Tarik	Spesimen logam standar, alat ukur panjang dan diameter	Mengamati deformasi dan membuat kurva tegangan-regangan
Pengujian Impak	Mesin Uji Impak	Spesimen Charpy/V-notch, alat ukur temperatur	Mengamati energi impak dan memahami temperatur transisi
Pengujian Kekerasan	Mesin Uji Keras (Brinell, Rockwell, Vickers)	Spesimen logam, tabel konversi kekerasan	Mengamati indentasi dan membandingkan metode pengujian
Pengujian Mampu Keras	Peralatan Jominy Test, Tungku Heat Treatment	Spesimen silinder, alat ukur kekerasan	Mengamati distribusi kekerasan akibat pendinginan berbeda

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Uji Metalografi	Mesin ampelas, Mesin poles, Lemari asam, Mikroskop metalurgi	Spesimen logam, larutan etsa, kaca objek, lampu mikroskop	Mengamati struktur mikro dan fase material

Untuk memastikan mutu praktikum Material Teknik terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Penggunaan Spesimen Edukatif.** Gunakan spesimen logam yang dirancang khusus untuk pendidikan, misalnya dengan variasi perlakuan panas agar fenomena lebih jelas terlihat.
2. **Penyederhanaan Prosedur.** Gunakan prosedur praktikum yang difokuskan pada pengamatan fenomena, bukan pada pengambilan data presisi tinggi, agar sesuai dengan tujuan pendidikan.
3. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.
4. **Peningkatan Keamanan dan Ergonomi.** Pastikan semua peralatan memiliki pelindung dan prosedur keselamatan yang sesuai untuk lingkungan pendidikan.

### 2.4.3 Mekanika Kekuatan Bahan

Mata kuliah **Mekanika Kekuatan Bahan** merupakan bagian penting dalam kurikulum teknik mesin dan teknik sipil yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman tentang perilaku material dan struktur saat dikenai beban. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkuat pemahaman terhadap konsep tegangan, regangan, defleksi, dan puntiran melalui pengamatan langsung terhadap fenomena mekanis pada benda uji.

Praktikum ini menekankan pada **pengamatan fenomena** dan **pemahaman prinsip dasar mekanika** daripada akurasi data numerik, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan konsep dan keterampilan dasar.

Mata kuliah Mekanika Kekuatan Bahan ini mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar tegangan, regangan, dan deformasi pada struktur teknik.

- **(b) Perancangan dan pengembangan solusi yang memperhatikan lingkungan dan keberlanjutan.** Mahasiswa mampu mempertimbangkan kekuatan dan ketahanan material dalam desain yang efisien dan berkelanjutan.
- **(d) Analisis Masalah.** Mahasiswa mampu menganalisis respons struktur terhadap beban dan menyelesaikan masalah mekanis secara sistematis.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Mekanika Kekuatan Bahan menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mampu melakukan pengukuran regangan pada batang.
2. Mampu melakukan pengukuran tegangan pada batang.
3. Mampu melakukan pengukuran defleksi pada batang.
4. Mampu melakukan pengukuran puntiran pada batang berpenampang silinder.

Bahan kajian praktikum yang disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena mekanika struktur melalui pengujian langsung adalah sebagai berikut:

- Tegangan dan regangan pada batang
- Defleksi pada batang yang dibebani
- Puntiran pada batang berpenampang silinder

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pengamatan fenomena mekanis secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan fenomena** seperti deformasi, regangan, dan puntiran, bukan pada pengambilan data presisi tinggi. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.4 Kebutuhan Peralatan Praktikum Mekanika Kekuatan Bahan

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Pengukuran Regangan	Mesin uji tarik kecil (pendidikan), strain gauge kit	Amplifier sinyal, display digital, batang uji logam	Mengamati perubahan panjang dan menghitung regangan
Pengukuran Tegangan	Mesin uji tarik atau tekan, strain gauge kit	Alat ukur gaya (load cell), batang uji logam	Mengamati gaya dan luas penampang untuk menghitung tegangan
Pengukuran Defleksi	Perangkat uji lentur (beam bending test set)	Dial gauge, batang uji logam, beban standar	Mengamati pembengkokan batang akibat beban

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Pengukuran Puntiran	Perangkat uji puntir (torsion test set)	Protractor, dial gauge, batang silinder logam	Mengamati sudut puntir dan menghitung tegangan geser

Untuk memastikan mutu praktikum Mekanika Kekuatan Bahan terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Deformasi.** Tambahkan kamera atau sistem dokumentasi visual untuk merekam perubahan bentuk batang selama pengujian.
2. **Penggunaan Peralatan Edukatif Modular.** Gunakan perangkat uji yang dirancang khusus untuk pendidikan, seperti beam bending set dan torsion set yang dilengkapi indikator visual.
3. **Integrasi Sensor Digital.** Gunakan strain gauge digital dan dial gauge elektronik untuk memudahkan pembacaan dan meningkatkan akurasi observasi.
4. **Simulasi Pendukung.** Gunakan software simulasi sederhana untuk memperkuat pemahaman sebelum dan sesudah praktikum (misalnya simulasi lentur dan puntir).
5. **Penyederhanaan Prosedur.** Fokuskan prosedur pada pengamatan fenomena dan pemahaman konsep, bukan pada pengambilan data presisi tinggi.
6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.4 Getaran Mekanik

Mata kuliah **Getaran Mekanik** merupakan bagian penting dalam kurikulum teknik mesin yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman tentang perilaku sistem mekanik saat mengalami getaran. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena dasar getaran melalui pengamatan langsung terhadap sistem fisik yang mengalami getaran bebas, paksa, dan teredam.

Praktikum ini menekankan pada **pengamatan fenomena dinamis** dan **pemahaman prinsip dasar getaran** daripada akurasi data numerik, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan konsep dan keterampilan dasar.

Mata kuliah Getaran Mekanik mendukung pencapaian CPL sebagai berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar getaran dalam sistem mekanik dan aplikasinya dalam teknik mesin.

- **(b) Perancangan dan pengembangan solusi yang memperhatikan lingkungan dan keberlanjutan.** Mahasiswa mampu mempertimbangkan dampak getaran dalam desain sistem mekanik yang efisien dan berkelanjutan.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu melaksanakan pengujian getaran dan menganalisis fenomena yang muncul secara sistematis.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Getaran Mekanik menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

- Mampu melakukan pengujian getaran bebas
- Mampu melakukan pengujian getaran paksa
- Mampu melakukan pengujian getaran teredam

Bahan kajian praktikum yang disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena getaran melalui pengujian langsung:

1. Pengujian getaran bebas
2. Pengujian getaran paksa
3. Pengujian getaran teredam

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pengamatan fenomena getaran secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan fenomena dinamis** seperti osilasi, resonansi, dan redaman, bukan pada pengambilan data presisi tinggi. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.5 Kebutuhan Peralatan Praktikum Getaran Mekanik

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Getaran Bebas	Perangkat uji getaran (spring-mass-damper system manual atau digital)	Stopwatch, sensor posisi, beban logam ringan	Mengamati frekuensi alami dan respons osilasi bebas
Getaran Paksa	Perangkat uji getaran dengan motor eksitasi atau shaker	Tachometer, sensor percepatan, pengatur frekuensi eksitasi	Mengamati resonansi dan respons terhadap gaya luar
Getaran Teredam	Perangkat uji getaran dengan elemen redaman (viskosa atau gesekan)	Sensor posisi, stopwatch, sistem pencatatan manual atau digital	Mengamati efek redaman terhadap amplitudo dan waktu osilasi

Untuk memastikan mutu praktikum Getaran Mekanik terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Dinamika Getaran.** Tambahkan kamera atau sistem dokumentasi visual untuk merekam gerakan sistem selama pengujian.
2. **Penggunaan Peralatan Edukatif Modular.** Gunakan perangkat uji getaran yang dirancang khusus untuk pendidikan, seperti spring-mass-damper kit dengan komponen transparan dan indikator visual.
3. **Integrasi Sensor Digital dan Data Logger.** Gunakan sensor percepatan, sensor posisi, dan sistem pencatatan digital untuk memudahkan observasi dan analisis.
4. **Simulasi Pendukung.** Gunakan software simulasi sederhana untuk memperkuat pemahaman sebelum dan sesudah praktikum (misalnya simulasi respons getaran terhadap eksitasi).
5. **Penyederhanaan Prosedur.** Fokuskan prosedur pada pengamatan fenomena dan pemahaman konsep, bukan pada pengambilan data presisi tinggi.
6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.5 Termodinamika

Mata kuliah **Termodinamika** merupakan mata kuliah dasar dalam bidang teknik mesin yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman tentang prinsip-prinsip energi, kalor, dan konversi energi dalam sistem teknik. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena dasar perpindahan kalor dan sifat termal material melalui pengamatan langsung, dengan penekanan pada pemahaman konsep dan karakteristik termodinamika daripada akurasi data numerik. Praktikum ini menjadi sarana penting dalam membentuk keterampilan ilmiah mahasiswa, seperti observasi, pengukuran, dan analisis fenomena kalor dalam sistem sederhana.

Mata kuliah Termodinamika mendukung pencapaian CPL sebagai berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar termodinamika dan aplikasinya dalam sistem teknik.
- **(b) Perancangan dan pengembangan solusi yang memperhatikan lingkungan dan keberlanjutan.** Mahasiswa mampu mempertimbangkan efisiensi energi dan dampak termal dalam desain sistem teknik yang berkelanjutan.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu melaksanakan pengujian termal dan menganalisis fenomena kalor secara sistematis.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Termodinamika menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

- Mampu melakukan pengujian untuk menentukan kapasitas kalor kalorimeter.
- Mampu melakukan pengujian untuk menentukan kalor jenis berbagai jenis logam.

Bahan kajian praktikum yang telah disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena termal melalui pengujian langsung:

1. Kapasitas kalor kalorimeter.
2. Kalor jenis berbagai jenis logam menggunakan kalorimeter.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pengamatan fenomena perpindahan kalor secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan fenomena kalor** seperti perubahan suhu dan kapasitas kalor, bukan pada pengambilan data presisi tinggi. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.6 Kebutuhan Peralatan Praktikum Termodinamika

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Kapasitas Kalor Kalorimeter	Bomb kalorimeter	Termometer digital, air destilasi, pemanas listrik, stopwatch	Menentukan kapasitas kalor kalorimeter melalui pengamatan perubahan suhu
Kalor Jenis Logam	Bomb kalorimeter, Penukar kalor sederhana	Logam uji (tembaga, aluminium, besi), timbangan digital, termometer digital	Menentukan kalor jenis logam melalui perubahan suhu dalam kalorimeter

Untuk memastikan mutu praktikum Termodinamika terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Perubahan Suhu.** Gunakan termometer digital dengan tampilan grafik atau sistem pencatatan suhu otomatis untuk memudahkan observasi.
2. **Penggunaan Spesimen Edukatif.** Gunakan logam uji dengan bentuk dan massa standar untuk memudahkan perbandingan dan analisis fenomena kalor.
3. **Integrasi Sensor dan Data Logger.** Tambahkan sensor suhu digital dan sistem pencatatan data otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi observasi.

4. **Simulasi Pendukung.** Gunakan software simulasi sederhana untuk memperkuat pemahaman sebelum dan sesudah praktikum (misalnya simulasi perpindahan kalor dan kapasitas kalor).
5. **Penyederhanaan Prosedur.** Fokuskan prosedur pada pengamatan fenomena dan pemahaman konsep, bukan pada pengambilan data presisi tinggi.
6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.6 Mekanika Fluida

Mata kuliah Mekanika Fluida merupakan mata kuliah dasar dalam bidang teknik mesin yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman tentang perilaku fluida dalam sistem teknik. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena dasar aliran fluida melalui pengamatan langsung terhadap sistem fisik yang menunjukkan prinsip-prinsip dasar seperti laju aliran, tekanan, dan kontinuitas. Praktikum ini menekankan pada pengamatan fenomena fluida dan pemahaman prinsip dasar mekanika fluida daripada akurasi data numerik, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan konsep dan keterampilan dasar.

Mata kuliah Mekanika Fluida ini mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar aliran fluida dan aplikasinya dalam sistem teknik.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu melaksanakan pengujian fluida dan menganalisis fenomena yang muncul secara sistematis.
- **(d) Analisis Masalah.** Mahasiswa mampu menganalisis perilaku fluida dalam sistem teknik dan menyelesaikan masalah aliran secara ilmiah.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Mekanika Fluida menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

- Mampu melakukan pengukuran laju aliran fluida.
- Mampu melakukan pengujian dan analisis berdasarkan persamaan Bernoulli.
- Mampu melakukan pengujian dan analisis berdasarkan persamaan kontinuitas.

Bahan kajian praktikum yang telah disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena fluida melalui pengujian langsung adalah:

1. Laju aliran fluida.
2. Analisis sifat-sifat zat cair dalam bejana berhubungan.

3. Analisis persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pengamatan fenomena aliran fluida secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan fenomena fluida** seperti perubahan tekanan, kecepatan, dan tinggi permukaan, bukan pada pengambilan data presisi tinggi. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.7 Kebutuhan Peralatan Praktikum Mekanika Fluida

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Laju Aliran Fluida	Perangkat uji laju aliran (flow bench atau flow meter edukatif)	Stopwatch, gelas ukur, pipa transparan	Mengamati volume fluida per waktu dan menghitung debit
Bejana Berhubungan	Bejana berhubungan transparan	Penggaris, air berwarna, wadah pengisi	Mengamati kesetimbangan tekanan hidrostatik
Persamaan Bernoulli	Tabung Bernoulli dengan manometer dan variasi diameter pipa	Stopwatch, penggaris, air berwarna, tangki penampung	Mengamati perubahan tekanan dan kecepatan fluida

Untuk memastikan mutu praktikum Mekanika Fluida terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Aliran Fluida.** Gunakan air berwarna atau partikel tracer untuk memudahkan pengamatan aliran dan kecepatan fluida.
2. **Penggunaan Peralatan Edukatif Modular.** Gunakan perangkat uji fluida yang dirancang khusus untuk pendidikan, seperti flow bench dengan indikator visual dan tabung transparan.
3. **Integrasi Sensor Digital dan Data Logger.** Tambahkan sensor tekanan dan sensor aliran digital untuk memudahkan observasi dan analisis.
4. **Simulasi Pendukung.** Gunakan software simulasi sederhana untuk memperkuat pemahaman sebelum dan sesudah praktikum (misalnya simulasi aliran dalam pipa dan efek tekanan).
5. **Penyederhanaan Prosedur.** Fokuskan prosedur pada pengamatan fenomena dan pemahaman konsep, bukan pada pengambilan data presisi tinggi.

6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.7 Perpindahan Panas

Mata kuliah **Perpindahan Panas** merupakan bagian penting dalam kurikulum teknik mesin yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman tentang mekanisme perpindahan energi termal melalui konduksi, konveksi, dan radiasi. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena dasar perpindahan panas melalui pengamatan langsung terhadap sistem fisik yang menunjukkan perubahan suhu, aliran energi, dan karakteristik termal material. Praktikum ini menekankan pada **pengamatan fenomena termal** dan **pemahaman prinsip dasar perpindahan panas**, bukan pada akurasi data numerik, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan konsep dan keterampilan dasar.

Mata kuliah Perpindahan Panas ini mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar perpindahan panas dan aplikasinya dalam sistem teknik.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu melaksanakan pengujian termal dan menganalisis fenomena perpindahan panas secara sistematis.
- **(d) Analisis Masalah.** Mahasiswa mampu menganalisis fenomena perpindahan panas dan menyelesaikan masalah termal dalam sistem teknik.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Perpindahan Panas menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mampu mengukur konduktivitas termal pada perpindahan panas konduksi
2. Mampu mengobservasi perpindahan panas konveksi bebas

Bahan kajian praktikum yang telah disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena perpindahan panas melalui pengujian langsung adalah:

1. Pengukuran konduktivitas termal pada perpindahan panas konduksi.
2. Melakukan pengujian untuk mendapatkan koefisien perpindahan panas konveksi bebas.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pengamatan fenomena perpindahan panas secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan fenomena termal** seperti perubahan suhu dan aliran energi, bukan pada pengambilan data presisi tinggi. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.8 Kebutuhan Peralatan Praktikum Perpindahan Panas

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Konduksi Termal	Peralatan konduksi: kawat nikelin, material tembaga, isolasi peredam panas	Termometer digital (T1 dan T2), dimmer, voltmeter, amperemeter	Mengamati aliran panas melalui konduksi dan menghitung konduktivitas termal
Konveksi Bebas	Alat uji konveksi bebas pada permukaan silinder horizontal	Termometer digital, stopwatch, silinder logam, pemanas listrik	Mengamati perpindahan panas melalui konveksi bebas dan menentukan koefisien perpindahan panas

Untuk memastikan mutu praktikum Perpindahan Panas terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Perubahan Suhu.** Gunakan termometer digital dengan tampilan grafik atau sistem pencatatan suhu otomatis untuk memudahkan observasi.
2. **Penggunaan Material Edukatif.** Gunakan bahan penghantar panas dengan bentuk dan dimensi standar untuk memudahkan perbandingan dan analisis fenomena konduksi.
3. **Integrasi Sensor dan Data Logger.** Tambahkan sensor suhu digital dan sistem pencatatan data otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi observasi.
4. **Simulasi Pendukung.** Gunakan software simulasi sederhana untuk memperkuat pemahaman sebelum dan sesudah praktikum (misalnya simulasi konduksi dan konveksi).
5. **Penyederhanaan Prosedur.** Fokuskan prosedur pada pengamatan fenomena dan pemahaman konsep, bukan pada pengambilan data presisi tinggi.
6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.8 Teknik Tenaga Listrik

Mata kuliah **Teknik Tenaga Listrik** merupakan mata kuliah inti dalam bidang teknik mesin dan elektro yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman tentang sistem kelistrikan, pengukuran listrik, dan karakteristik komponen listrik seperti motor, transformator, dan generator. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena dasar kelistrikan melalui pengamatan

langsung terhadap sistem satu dan tiga fasa, serta pengujian karakteristik komponen listrik. Praktikum ini menekankan pada **pengamatan fenomena kelistrikan** dan **pemahaman prinsip kerja sistem tenaga listrik**, bukan pada akurasi data numerik, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan konsep dan keterampilan dasar.

Mata kuliah Teknik Tenaga Listrik mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar kelistrikan dan aplikasinya dalam sistem tenaga listrik.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu melaksanakan pengukuran dan pengujian kelistrikan serta menganalisis fenomena yang muncul secara sistematis.
- **(d) Analisis Masalah.** Mahasiswa mampu menganalisis sistem kelistrikan dan menyelesaikan masalah teknis secara ilmiah.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Teknik Tenaga Listrik menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mahasiswa mampu merencanakan pengukuran tegangan dan arus dengan benar serta menganalisis kesalahan pengukuran.
2. Mahasiswa mampu membuat rangkaian pembalik arah motor listrik 1 fasa menggunakan dua kontaktor.
3. Mahasiswa mampu membuat rangkaian wye/delta motor listrik 3 fasa menggunakan dua kontaktor.
4. Mahasiswa mampu melakukan pengujian karakteristik transformator.
5. Mahasiswa mampu melakukan pengujian karakteristik generator.

Bahan kajian praktikum yang telah disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena kelistrikan melalui pengujian langsung adalah:

1. Pengukuran tegangan dan arus listrik.
2. Pengenalan kelistrikan 1 dan 3 fasa.
3. Prinsip kerja motor AC induksi 1 dan 3 fasa.
4. Prinsip kerja transformator.
5. Prinsip kerja generator.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pengamatan fenomena kelistrikan secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan fenomena kelistrikan** seperti perubahan arus, tegangan,

dan karakteristik kerja komponen listrik, bukan pada pengambilan data presisi tinggi. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.9 Kebutuhan Peralatan Praktikum Teknik Tenaga Listrik

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Pengukuran Arus dan Tegangan	Multimeter digital dan analog	Kabel konektor, sumber listrik AC/DC, beban resistif	Mengamati nilai arus dan tegangan serta menganalisis kesalahan pengukuran
Motor AC 1 Fasa	Motor AC induksi 1 fasa, dua kontaktor	Saklar, kabel, panel kontrol mini	Membuat rangkaian pembalik arah putaran motor
Motor AC 3 Fasa	Motor AC induksi 3 fasa, dua kontaktor	Panel kontrol, saklar, kabel, konverter frekuensi	Membuat rangkaian wye/delta dan mengamati perubahan karakteristik motor
Transformator	Transformator satu dan tiga fasa	Multimeter, beban resistif, kabel konektor	Mengamati karakteristik tegangan dan arus pada transformator
Generator	Generator sinkron kecil	Beban lampu, multimeter, kabel konektor	Mengamati karakteristik tegangan dan frekuensi keluaran generator

Untuk memastikan mutu praktikum Teknik Tenaga Listrik terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Arus dan Tegangan.** Gunakan multimeter digital dengan tampilan grafik atau sistem pencatatan otomatis untuk memudahkan observasi.
2. **Penggunaan Panel Edukatif Modular.** Gunakan panel kontrol mini yang dirancang khusus untuk pendidikan, dengan indikator visual dan sistem proteksi.
3. **Integrasi Sensor dan Data Logger.** Tambahkan sensor arus dan tegangan digital serta sistem pencatatan data otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi observasi.
4. **Simulasi Pendukung.** Gunakan software simulasi rangkaian listrik dan motor untuk memperkuat pemahaman sebelum dan sesudah praktikum.
5. **Penyederhanaan Prosedur.** Fokuskan prosedur pada pengamatan fenomena dan pemahaman konsep, bukan pada pengambilan data presisi tinggi.

6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.9 Proses Manufaktur

Mata kuliah **Proses Manufaktur** merupakan mata kuliah inti dalam bidang teknik mesin yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman dan keterampilan dasar dalam proses pembentukan, penyambungan, finishing, dan pengukuran komponen mekanik. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena dasar dan teknik kerja manufaktur melalui pengamatan langsung dan pelaksanaan proses nyata di laboratorium.

Mata kuliah Proses Manufaktur mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar proses manufaktur dan aplikasinya dalam pembuatan komponen teknik.
- **(b) Perancangan dan pengembangan solusi yang memperhatikan lingkungan dan keberlanjutan.** Mahasiswa mampu merancang proses manufaktur yang efisien dan mempertimbangkan dampak lingkungan.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu melaksanakan proses manufaktur dan menganalisis hasilnya secara sistematis.
- **(e) Pengenalan peralatan modern** Mahasiswa mengenal dan menggunakan peralatan manufaktur konvensional dan modern secara aman dan efektif.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Proses Manufaktur menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mampu membaca gambar serta menerjemahkan gambar menjadi rencana proses dan pengukuran.
2. Mampu melakukan proses dasar pembentukan (forming) seperti pengecoran, pemesinan, atau additive manufacturing.
3. Mampu melakukan proses dasar penyambungan/perakitan komponen mesin seperti pengelasan, penyambungan mekanik, brazing, soldering, atau adhesive bonding.
4. Mampu melakukan proses finishing seperti grinding, penyepuhan, atau pengecatan.
5. Mampu melakukan pengukuran terhadap komponen yang dihasilkan dan membandingkan dengan gambar.

Bahan kajian praktikum disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada proses manufaktur melalui pelaksanaan langsung:

1. Perencanaan proses manufaktur dan pengukuran.
2. Proses pembentukan komponen mekanik melalui pengecoran, pemesinan, atau additive manufacturing.
3. Proses perakitan/penyambungan komponen mekanik melalui pengelasan, penyambungan mekanik, brazing, soldering, atau adhesive bonding.
4. Proses finishing seperti grinding, penyepuhan, atau pengecatan.
5. Pengukuran komponen hasil manufaktur.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pelaksanaan proses manufaktur secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan fenomena proses, penerapan keterampilan dasar, dan penggunaan peralatan edukatif**, bukan pada produksi massal atau keperluan akurasi industri tinggi. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.10 Kebutuhan Peralatan Praktikum Proses Manufaktur

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Praktikum
Perencanaan dan Pengukuran	Gambar teknik, alat ukur dimensi (jangka sorong, mikrometer, height gauge)	Meja kerja, alat tulis teknik, software CAD sederhana	Membaca gambar dan merencanakan proses serta pengukuran komponen
Pembentukan (Forming)	Tungku pengecoran, peralatan pembuat cetakan, mesin bubut, milling, drilling, 3D printer	Cetakan pasir, logam cor, filament 3D, alat keselamatan kerja	Melakukan proses pembentukan komponen mekanik
Penyambungan/Perakitan	Mesin las (SMAW, TIG, MIG, Oxy-acetylene), tang rivet, mesin solder/brazing	Perkakas tangan, alat pengencang, adhesive bonding kit	Melakukan proses penyambungan dan perakitan komponen
Finishing	Mesin gerinda, mesin cat semprot, mesin penyepuh	Alat pelindung, bahan finishing, ruang ventilasi	Melakukan proses akhir pada permukaan komponen

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Praktikum
Pengukuran Komponen	Alat ukur dimensi (jangka sorong, mikrometer, height gauge)	Komponen hasil proses, gambar teknik	Membandingkan hasil manufaktur dengan spesifikasi gambar

### Rekomendasi Perbaikan Berbasis Praktik Baik untuk Peningkatan Mutu Praktikum

Untuk memastikan mutu praktikum Proses Manufaktur terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena dan keterampilan, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Proses dan Hasil.** Gunakan kamera atau sistem dokumentasi visual untuk merekam proses manufaktur dan hasil akhir komponen.
2. **Penggunaan Peralatan Edukatif Modular.** Gunakan mesin dan alat yang dirancang khusus untuk pendidikan, dengan ukuran dan fitur yang sesuai untuk pembelajaran.
3. **Integrasi Peralatan Modern.** Tambahkan peralatan modern seperti printer 3D edukatif dan software CAD/CAM sederhana untuk memperkenalkan teknologi terkini.
4. **Simulasi Pendukung.** Gunakan simulasi proses manufaktur untuk memperkuat pemahaman sebelum dan sesudah praktikum.
5. **Penyederhanaan Prosedur dan Fokus pada Keterampilan.** Fokuskan prosedur pada pengamatan fenomena dan penguasaan keterampilan dasar, bukan pada produksi atau akurasi tinggi.
6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.10 Mesin Konversi Energi

Mata kuliah **Mesin Konversi Energi** merupakan mata kuliah inti dalam bidang teknik mesin yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman tentang prinsip kerja dan karakteristik mesin-mesin konversi energi seperti turbin, pompa, motor bakar, kompresor, dan sistem pendingin. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena nyata melalui pengujian langsung terhadap kinerja mesin dan analisis karakteristiknya. Praktikum ini menekankan pada **pengamatan fenomena kerja mesin, pengukuran parameter kinerja, dan analisis efisiensi sistem**, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan kompetensi teknis dan analitis.

Mata kuliah Mesin Konversi Energi mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar konversi energi dan aplikasinya dalam sistem teknik.
- **(b) Perancangan dan pengembangan solusi yang memperhatikan lingkungan dan keberlanjutan.** Mahasiswa mampu menganalisis efisiensi dan dampak lingkungan dari sistem konversi energi.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu melaksanakan pengujian kinerja mesin dan menganalisis data hasil pengujian secara sistematis.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Mesin Konversi Energi menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mampu melakukan pengujian kinerja turbin aksial dan mendapatkan karakteristiknya.
2. Mampu melakukan pengujian kinerja pompa sentrifugal dan mendapatkan karakteristiknya.
3. Mampu melakukan pengujian kinerja motor bakar dan mendapatkan karakteristiknya.
4. Mampu melakukan pengujian kinerja kompresor torak dan mendapatkan karakteristiknya.
5. Mampu melakukan pengujian kinerja mesin pendingin dan mendapatkan karakteristiknya.

Bahan kajian praktikum yang telah disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada pengujian kinerja mesin melalui pengamatan langsung dan analisis data adalah:

1. Pengukuran daya air, daya turbin, dan efisiensi turbin.
2. Grafik daya turbin vs putaran poros, efisiensi vs putaran poros.
3. Pengukuran head, debit, daya poros, dan efisiensi pompa.
4. Grafik head vs debit, efisiensi vs debit, daya vs debit.
5. Pengukuran putaran, gaya, torsi, dan daya motor bakar.
6. Pengukuran konsumsi bahan bakar dan temperatur gas buang.
7. Grafik torsi vs putaran, daya vs putaran.
8. Pengamatan kondisi evaporator, kondensor, katup ekspansi, dan kompresor.
9. Pembacaan TDB dan TWB pada saluran udara.

10. Penggambaran siklus fluida kerja pada diagram P-h dan psikometrik.

11. Penentuan COP dan heat pump.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pengamatan fenomena kerja mesin secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan karakteristik kinerja mesin, pengukuran parameter utama, dan analisis efisiensi sistem**, bukan pada pengambilan data presisi tinggi. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.11 Kebutuhan Peralatan Praktikum Mesin Konversi Energi

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Turbin Aksial	Perangkat uji kinerja turbin air	Flow meter, tachometer, manometer, beban mekanik	Mengukur daya air, daya turbin, dan efisiensi
Pompa Sentrifugal	Perangkat uji pompa sentrifugal	Flow meter, pressure gauge, tachometer, beban mekanik	Mengukur head, debit, daya poros, dan efisiensi pompa
Motor Bakar	Perangkat uji motor bakar (bensin/diesel)	Dynamometer, flow meter bahan bakar, termometer gas buang	Mengukur torsi, daya, konsumsi bahan bakar, dan temperatur
Kompresor Torak	Perangkat uji kompresor torak	Pressure gauge, flow meter, tachometer	Mengukur tekanan, debit, dan efisiensi kompresi
Mesin Pendingin	Perangkat uji sistem refrigerasi	Termometer digital, sensor tekanan, psychrometer, diagram P-h	Mengukur COP, kondisi komponen, dan siklus fluida kerja

Untuk memastikan mutu praktikum Mesin Konversi Energi terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena dan analisis kinerja, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Kinerja Mesin.** Gunakan sistem pencatatan digital dan grafik real-time untuk memudahkan observasi dan analisis kinerja mesin.
2. **Penggunaan Peralatan Edukatif Modular.** Gunakan unit uji yang dirancang khusus untuk pendidikan, dengan indikator visual dan sistem proteksi.
3. **Integrasi Sensor dan Data Logger.** Tambahkan sensor tekanan, suhu, debit, dan torsi digital serta sistem pencatatan data otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi observasi.

4. **Simulasi Pendukung.** Gunakan software simulasi siklus termodinamika dan kinerja mesin untuk memperkuat pemahaman sebelum dan sesudah praktikum.
5. **Penyederhanaan Prosedur dan Fokus pada Fenomena.** Fokuskan prosedur pada pengamatan fenomena dan pemahaman karakteristik mesin, bukan pada pengambilan data presisi tinggi.
6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.11 Menggambar Mesin

Mata kuliah **Menggambar Mesin** merupakan mata kuliah dasar dalam bidang teknik mesin yang bertujuan membekali mahasiswa dengan kemampuan membaca, membuat, dan menginterpretasikan gambar teknik komponen dan rakitan mekanik. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada keterampilan menggambar manual dan digital, serta pengorganisasian informasi geometrik sesuai standar internasional. Praktikum ini menekankan pada **penguasaan keterampilan visualisasi teknik, penggunaan alat ukur dan peralatan gambar, serta pemanfaatan perangkat lunak CAD**, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan kompetensi teknis dan profesional.

Mata kuliah Menggambar Mesin ini mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar visualisasi teknik dan representasi geometrik komponen mekanik.
- **(b) Perancangan dan pengembangan solusi yang memperhatikan lingkungan dan keberlanjutan.** Mahasiswa mampu menyusun gambar teknik yang mendukung proses perancangan yang efisien dan berkelanjutan.
- **(e) Pengenalan peralatan modern.** Mahasiswa mengenal dan menggunakan perangkat lunak CAD serta alat ukur dimensi secara efektif.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Menggambar Mesin menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mampu menggambar sketsa komponen mekanik.
2. Mampu menggambar susunan dan detail sesuai dengan standar.
3. Mampu mencantumkan spesifikasi geometri pada gambar.
4. Mampu membuat gambar susunan dan detail dengan bantuan CAD.
5. Mampu membuat model 3D sederhana dengan menggunakan CAD.

Bahan kajian praktikum disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada keterampilan menggambar teknik melalui praktik langsung:

1. Menggambar sketsa sebuah benda kerja.
2. Menggambar susunan dan detail suatu rakitan peralatan mekanik sesuai Standar ISO.
3. Pengorganisasian gambar dan penulisan spesifikasi geometri seperti dimensi, bentuk, posisi, kekasaran permukaan, dan simbol pengerjaan.
4. Menggambar dengan menggunakan alat bantu CAD.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pelaksanaan kegiatan menggambar teknik secara manual dan digital. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menghasilkan gambar teknik yang sesuai standar, penggunaan alat ukur, dan pemanfaatan perangkat lunak CAD edukatif**. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.12 Kebutuhan Peralatan Praktikum Menggambar Mesin

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Sketsa Komponen Mekanik	Meja gambar, pensil teknik, penggaris, jangka gambar	Peralatan mekanik sederhana yang dapat dibongkar pasang	Membuat sketsa manual komponen berdasarkan pengamatan fisik
Gambar Susunan dan Detail	Meja gambar, alat gambar teknik lengkap	Gambar teknik referensi, komponen mekanik	Menggambar susunan dan detail sesuai standar ISO
Spesifikasi Geometri	Meja gambar, alat gambar teknik, alat ukur dimensi	Jangka sorong, mikrometer, height gauge	Menentukan dan mencantumkan dimensi, toleransi, dan simbol pengerjaan
Gambar CAD 2D	Komputer dan perangkat lunak CAD (AutoCAD, SolidWorks, dsb.)	Mouse CAD, monitor besar, file referensi	Membuat gambar susunan dan detail dengan bantuan CAD
Model 3D CAD	Komputer dan perangkat lunak CAD 3D	File CAD, komponen referensi, tutorial visual	Membuat model 3D sederhana dari komponen mekanik

Untuk memastikan mutu praktikum Menggambar Mesin terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis keterampilan dan teknologi, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Komponen Nyata.** Gunakan komponen mekanik sederhana yang dapat dibongkar pasang untuk membantu mahasiswa memahami bentuk dan fungsi komponen.
2. **Penggunaan Perangkat Lunak CAD Edukatif.** Gunakan versi edukatif dari perangkat lunak CAD yang mendukung fitur 2D dan 3D serta memiliki antarmuka ramah pengguna.
3. **Integrasi Simulasi dan Rendering.** Tambahkan fitur rendering dan simulasi gerak dalam CAD untuk memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap fungsi komponen.
4. **Penyederhanaan Prosedur dan Fokus pada Standar.** Fokuskan prosedur pada penguasaan standar gambar teknik dan keterampilan dasar menggambar, bukan pada kompleksitas desain.
5. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik (sketsa, detail, CAD 2D, CAD 3D) agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.
6. **Penyediaan Template dan Referensi ISO.** Sediakan template gambar teknik dan referensi standar ISO untuk mendukung konsistensi dan akurasi dalam penggambaran.

#### 2.4.12 Mekatronika

Mata kuliah **Mekatronika** merupakan mata kuliah lanjutan dalam bidang teknik mesin dan elektro yang bertujuan membekali mahasiswa dengan pemahaman dan keterampilan dalam merancang, memprogram, dan menguji sistem mekatronika berbasis relay, PLC, dan mikrokontroler. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena kontrol logika dan penggerak motor melalui pengamatan langsung dan pemrograman sistem sederhana. Praktikum ini menekankan pada **pengamatan fenomena kontrol, pemahaman prinsip kerja sistem otomatisasi, dan penguasaan perangkat kontrol modern**, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan kompetensi teknis dan sistemik.

Mata kuliah Mekatronika ini mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar sistem kontrol dan integrasi komponen elektro-mekanik.

- **(b) Perancangan dan pengembangan solusi yang memperhatikan lingkungan dan keberlanjutan.** Mahasiswa mampu merancang sistem mekatronika yang efisien dan berkelanjutan.
- **(d) Analisis Masalah.** Mahasiswa mampu menganalisis dan menyelesaikan masalah dalam sistem kontrol dan penggerak secara sistematis.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Mekatronika menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mahasiswa mampu merancang kontroler untuk sistem mekatronika dengan menggunakan relay.
2. Mahasiswa mampu membuat diagram Ladder berdasarkan persamaan Boolean dari suatu sistem mekatronika.
3. Mahasiswa mampu merancang sistem mekatronika berbasis mikrokontroler dengan penggerak berupa motor AC, motor DC, dan motor step.

Bahan kajian praktikum telah disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada sistem kontrol dan penggerak melalui praktik langsung:

1. Pemrograman sistem mekatronika berbasis relay.
2. Pemrograman sistem mekatronika berbasis PLC.
3. Pemrograman sistem mekatronika berbasis mikrokontroler.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pengamatan fenomena kontrol dan penggerak secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan logika kontrol, penggunaan perangkat kontrol modern, dan pengujian penggerak motor**, bukan pada sistem industri berskala besar. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.13 Kebutuhan Peralatan Praktikum Mekatronika

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Kontrol Berbasis Relay	Komponen elektronik relay, saklar, lampu indikator	Breadboard, kabel jumper, catu daya DC	Merancang logika kontrol sederhana menggunakan relay
Diagram Ladder dan PLC	PLC edukatif (misalnya Siemens Logo!, Omron CP1E)	Software pemrograman PLC, simulator input/output, lampu indikator	Membuat diagram Ladder dan menguji logika kontrol berbasis PLC

Kontrol Berbasis Mikrokontroler	Mikrokontroler (Arduino Uno/Nano)	Sensor (push button, proximity), motor AC/DC/step, driver motor, breadboard	Merancang sistem kontrol dan penggerak berbasis mikrokontroler
---------------------------------	-----------------------------------	---	--

Untuk memastikan mutu praktikum Mekatronika terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena dan teknologi kontrol, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Logika dan Respons Sistem.** Gunakan indikator LED, buzzer, dan display digital untuk memudahkan pengamatan hasil kontrol.
2. **Penggunaan Perangkat Edukatif Modular.** Gunakan PLC dan mikrokontroler versi edukatif yang memiliki antarmuka sederhana dan aman untuk mahasiswa.
3. **Integrasi Sensor dan Aktuator Sederhana.** Tambahkan sensor suhu, cahaya, dan jarak serta aktuator seperti motor servo dan motor step untuk memperluas skenario kontrol.
4. **Simulasi Pendukung.** Gunakan software simulasi Ladder dan Arduino IDE untuk memperkuat pemahaman sebelum dan sesudah praktikum.
5. **Penyederhanaan Prosedur dan Fokus pada Logika.** Fokuskan prosedur pada pengamatan logika kontrol dan pemahaman prinsip kerja sistem, bukan pada kompleksitas industri.
6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik (relay, PLC, mikrokontroler) agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.13 Pengukuran Teknik/Metrologi

Mata kuliah **Pengukuran Teknik** bertujuan membekali mahasiswa dengan pengetahuan dan keterampilan dalam membaca gambar teknik, merencanakan metode pengukuran, menggunakan alat ukur dimensi, serta mengolah data hasil pengukuran. Praktikum dalam mata kuliah ini dirancang untuk memperkenalkan mahasiswa pada fenomena dasar pengukuran geometrik dan dimensi melalui pengamatan langsung dan penggunaan alat ukur manual maupun presisi. Praktikum ini menekankan pada **penguasaan keterampilan metrologi, pemahaman prinsip kerja alat ukur, dan pengolahan data hasil pengukuran**, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan kompetensi teknis dan analitis.

Mata kuliah Pengukuran Teknik mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(a) Pengetahuan sains dan teknik.** Mahasiswa memahami prinsip dasar pengukuran dan aplikasinya dalam proses rekayasa.

- **(b) Perancangan dan pengembangan solusi yang memperhatikan lingkungan dan keberlanjutan.** Mahasiswa mampu merencanakan proses pengukuran yang efisien dan akurat sebagai bagian dari proses produksi yang berkelanjutan.
- **(c) Eksperimen dan Analisis Data.** Mahasiswa mampu melaksanakan pengukuran dan menganalisis data hasil pengukuran secara sistematis.
- **(e) Pengenalan peralatan modern.** Mahasiswa mengenal dan menggunakan alat ukur presisi serta teknik pengolahan data pengukuran.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Pengukuran Teknik menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mampu menerjemahkan gambar mesin menjadi kebutuhan peralatan ukur dan metode pengukuran.
2. Mampu melakukan pengukuran dimensi dan geometri komponen teknik.
3. Mampu mengolah dan mengevaluasi data hasil pengukuran.

Bahan kajian praktikum disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada proses pengukuran teknik melalui praktik langsung:

1. Perencanaan proses pengukuran sesuai dengan spesifikasi gambar teknik.
2. Kalibrasi dan pemeriksaan alat ukur (jangka sorong, mikrometer).
3. Pengukuran dimensi menggunakan jangka sorong dan mikrometer.
4. Pengukuran sudut menggunakan busur bilah.
5. Pengukuran tidak langsung (misalnya menggunakan dial indicator dan v-block).
6. Pengolahan dan analisis data hasil pengukuran.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pelaksanaan pengukuran dimensi dan geometri secara langsung dan aman. Peralatan yang digunakan difokuskan pada **kemampuan menunjukkan fenomena pengukuran, penggunaan alat ukur manual dan presisi**, serta **pengolahan data hasil pengukuran**. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.14 Kebutuhan Peralatan Praktikum Pengukuran Teknik

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Perencanaan Pengukuran	Gambar teknik, komponen uji	Alat tulis teknik, software CAD sederhana	Menentukan metode dan alat ukur berdasarkan gambar teknik

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen
Kalibrasi Alat Ukur	Jangka sorong, mikrometer, gauge block	Meja rata, optical parallel, stand ukur	Memeriksa dan mengkalibrasi alat ukur sebelum digunakan
Pengukuran Dimensi	Jangka sorong, mikrometer	Komponen uji, v-block, stand ukur	Mengukur panjang, diameter, dan ketebalan komponen
Pengukuran Sudut	Busur bilah	Komponen bersudut, penggaris, meja kerja	Mengukur sudut luar dan dalam komponen teknik
Pengukuran Tidak Langsung	Dial indicator	V-block, stand, meja rata	Mengukur kerataan, runout, dan kesikuan permukaan
Pengolahan Data	Komputer, spreadsheet, kalkulator teknik	Komponen ukur, data hasil pengukuran	Mengolah dan mengevaluasi data pengukuran secara statistik

Untuk memastikan mutu praktikum Pengukuran Teknik terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis fenomena dan keterampilan metrologi, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Visualisasi Proses Pengukuran.** Gunakan kamera atau sistem dokumentasi visual untuk merekam proses pengukuran dan teknik penggunaan alat ukur.
2. **Penggunaan Peralatan Edukatif Modular.** Gunakan alat ukur versi edukatif yang memiliki skala jelas, ergonomis, dan aman untuk mahasiswa.
3. **Integrasi Peralatan Modern.** Tambahkan alat ukur digital seperti digital caliper dan digital micrometer untuk memperkenalkan teknologi pengukuran terkini.
4. **Simulasi dan Evaluasi Data.** Gunakan software spreadsheet atau aplikasi statistik sederhana untuk membantu mahasiswa mengolah dan mengevaluasi data hasil pengukuran.
5. **Penyederhanaan Prosedur dan Fokus pada Standar.** Fokuskan prosedur pada penguasaan teknik pengukuran dan pemahaman standar geometrik, bukan pada kompleksitas industri.
6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan alat dan bahan dalam modul praktikum tematik (dimensi, sudut, tidak langsung, pengolahan data) agar memudahkan persiapan dan pelaksanaan.

#### 2.4.14 Capstone Design

Mata kuliah **Capstone Design** merupakan mata kuliah akhir dalam kurikulum teknik mesin yang bertujuan membekali mahasiswa dengan kemampuan menerapkan seluruh pengetahuan dan keterampilan yang telah diperoleh untuk merancang dan mewujudkan produk rekayasa secara nyata. Praktikum dalam mata kuliah ini berbentuk proyek desain terpadu yang melibatkan aspek teknis, manajerial, komunikasi, dan kerja tim. Praktikum ini menekankan pada **pengalaman langsung dalam proses rekayasa produk, penggunaan peralatan modern**, serta **pengembangan kemampuan komunikasi dan manajemen proyek**, sehingga sesuai untuk pendidikan sarjana yang berorientasi pada pembentukan kompetensi profesional dan multidisiplin.

Mata kuliah Capstone Design mendukung pencapaian CPL berikut:

- **(e) Pengenalan peralatan modern.** Mahasiswa mampu menggunakan peralatan dan teknologi terkini dalam proses desain dan pembuatan prototipe.
- **(f) Komunikasi.** Mahasiswa mampu menyampaikan ide, rancangan, dan hasil proyek secara efektif melalui presentasi dan laporan.
- **(g) Manajemen proyek dan biaya.** Mahasiswa mampu merencanakan, mengendalikan, dan mengevaluasi proyek rekayasa secara efisien.
- **(h) Kerja secara mandiri dan kelompok.** Mahasiswa mampu bekerja secara kolaboratif dalam tim dan menunjukkan kemandirian dalam menyelesaikan tugas desain.

Untuk mendukung CPL tersebut, praktikum Capstone Design menetapkan CPMK minimum sebagai berikut:

1. Mahasiswa mampu menerapkan teori dasar ilmu teknik mesin dalam proses desain produk rekayasa.
2. Mahasiswa mampu menerapkan teori desain produk rekayasa secara sistematis.
3. Mahasiswa mampu menyusun laporan dan melakukan presentasi secara profesional.
4. Mahasiswa mampu bekerja secara efektif dalam tim untuk mewujudkan rancangan produk.

Bahan kajian praktikum disusun untuk memperkenalkan mahasiswa pada seluruh tahapan proses desain rekayasa melalui pelaksanaan proyek nyata:

1. Manajemen proyek: pengendalian kegiatan pengembangan produk, penjadwalan, penghitungan ongkos proyek.

2. Pendefinisian masalah dan penetapan *Design Requirements and Objectives (DRO)*.
3. Pengembangan alternatif solusi dan penentuan solusi yang dipilih.
4. Perancangan konseptual dan *proof of concept*.
5. *Embodiment design* dan pembuatan *mock-up*.
6. Pemilihan material dan proses manufaktur.
7. Perencanaan proses (termasuk perakitan) pembuatan prototipe.
8. Pembuatan prototipe.
9. Pengujian prototipe.
10. Penulisan laporan dan presentasi.

Fasilitas laboratorium untuk praktikum ini harus mendukung pelaksanaan proyek desain secara nyata dan multidisiplin. Peralatan yang digunakan merupakan gabungan dari mata kuliah pendukung seperti Mekatronika, Proses Manufaktur, Menggambar Mesin, dan Pengukuran Teknik. Berikut adalah tabel kebutuhan peralatan laboratorium yang telah disusun secara sistematis:

Tabel 2.15 Kebutuhan Peralatan Praktikum Capstone Design

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen/Proyek
Perancangan Mekanik	Komputer dan perangkat lunak CAD	Meja gambar, alat ukur dimensi, komponen mekanik sederhana	Membuat gambar susunan dan detail produk
Proses Manufaktur	Mesin bubut, milling, drilling, 3D printer, mesin las	Perkakas tangan, alat pengencang, adhesive bonding kit	Membuat komponen dan merakit prototipe
Mekatronika	Mikrokontroler (Arduino), PLC, relay, sensor, aktuator (motor AC/DC/step)	Breadboard, kabel jumper, catu daya, software pemrograman	Merancang sistem kontrol dan integrasi komponen elektronik
Pengujian dan Pengukuran	Jangka sorong, mikrometer, dial indicator, multimeter	Meja rata, v-block, gauge block, optical parallel	Mengukur dan mengevaluasi dimensi serta performa prototipe

Topik Praktikum	Peralatan Utama	Peralatan Pendukung	Tujuan Eksperimen/Proyek
Presentasi dan Dokumentasi	Komputer, proyektor, software presentasi dan pengolah kata	Template laporan, kamera dokumentasi, alat bantu visual	Menyusun laporan dan menyampaikan hasil proyek

Untuk memastikan mutu praktikum Capstone Design terus meningkat dan relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis proyek dan multidisiplin, berikut adalah rekomendasi berbasis praktik baik:

1. **Integrasi Peralatan dari Mata Kuliah Pendukung.** Pastikan laboratorium Capstone memiliki akses ke peralatan dari mata kuliah Mekatronika, Proses Manufaktur, Menggambar Mesin, dan Pengukuran Teknik.
2. **Penyediaan Ruang Kolaboratif.** Sediakan ruang kerja tim yang mendukung diskusi, perakitan, dan dokumentasi proyek secara simultan.
3. **Penggunaan Perangkat Lunak Manajemen Proyek.** Gunakan software seperti Trello, GanttProject, atau MS Project untuk membantu mahasiswa dalam penjadwalan dan pengendalian proyek.
4. **Pendampingan Teknis dan Supervisi Terstruktur.** Libatkan dosen pembimbing dan teknisi laboratorium secara aktif dalam proses desain dan pembuatan prototipe.
5. **Penyederhanaan Prosedur dan Fokus pada Kreativitas.** Dorong mahasiswa untuk fokus pada inovasi dan solusi teknis yang aplikatif, bukan sekadar replikasi desain.
6. **Modularisasi Praktikum.** Kelompokkan tahapan proyek dalam modul (perencanaan, desain, manufaktur, pengujian, presentasi) agar memudahkan pengelolaan dan evaluasi.

## Bab 3 Pengelolaan Peralatan Praktikum

### 3.1 Tujuan Pengelolaan Peralatan Praktikum

Pengelolaan peralatan praktikum dalam laboratorium pendidikan bertujuan untuk menjamin penyelenggaraan kegiatan pembelajaran yang aman, efektif, dan sesuai dengan standar mutu pendidikan teknik dan vokasi. Peralatan praktikum merupakan komponen vital dalam mendukung pencapaian capaian pembelajaran, yang mana keberadaannya harus memenuhi aspek kelayakan teknis, relevansi pedagogis, dan kesiapan operasional. Dengan demikian, pengelolaan yang sistematis diperlukan agar setiap alat yang digunakan dapat berfungsi optimal, memiliki tingkat akurasi yang dapat dipertanggungjawabkan, dan tersedia sesuai kebutuhan kurikulum.

Tujuan utama dari pengelolaan ini mencakup beberapa aspek. Pertama, memastikan bahwa peralatan praktikum tersedia dalam jumlah dan jenis yang sesuai dengan kebutuhan mata kuliah, sehingga mahasiswa dapat melakukan kegiatan praktikum secara langsung dan tidak hanya bersifat demonstratif. Kedua, menjaga kondisi fisik dan fungsional alat melalui kegiatan pemeliharaan dan kalibrasi berkala, yang mana hal ini berkontribusi langsung terhadap peningkatan kinerja laboratorium secara keseluruhan. Ketiga, mendukung efisiensi penggunaan sumber daya laboratorium melalui sistem inventarisasi, penjadwalan, dan rotasi pemakaian alat yang terkoordinasi dengan baik.

Selain itu, pengelolaan peralatan juga bertujuan untuk menjamin keselamatan pengguna laboratorium, baik mahasiswa, dosen, maupun tenaga teknis. Setiap alat harus dilengkapi dengan petunjuk penggunaan yang jelas, serta didukung oleh protokol keselamatan kerja yang sesuai dengan karakteristik alat dan jenis praktikum. Dalam konteks institusi pendidikan tinggi, pengelolaan peralatan praktikum juga berfungsi sebagai bagian dari sistem penjaminan mutu internal, yang mana dokumentasi, audit, dan evaluasi berkala terhadap kondisi dan pemanfaatan alat menjadi indikator penting dalam akreditasi program studi dan laboratorium.

Dengan demikian, pengelolaan peralatan praktikum bukan hanya berorientasi pada aspek teknis semata, melainkan juga mencakup dimensi pedagogis, manajerial, dan keselamatan kerja, yang secara terpadu mendukung terciptanya lingkungan belajar yang produktif, aman, dan berkelanjutan.

### 3.2 Prosedur Pengadaan Peralatan

Prosedur pengadaan peralatan praktikum merupakan tahapan krusial dalam pengelolaan laboratorium pendidikan, yang mana proses ini harus dilakukan secara sistematis, transparan, dan berbasis kebutuhan kurikulum. Pengadaan peralatan tidak semata-mata berorientasi pada pemenuhan fisik ruang laboratorium, melainkan harus didasarkan pada analisis capaian pembelajaran mata kuliah, karakteristik eksperimen,

serta pedoman teknis yang telah dikeluarkan oleh asosiasi program studi seperti BKSTM. Dalam hal ini, pengadaan harus mempertimbangkan kesesuaian antara spesifikasi alat dengan kompetensi yang ingin dicapai oleh mahasiswa, sehingga alat yang diadakan benar-benar relevan dan mendukung peningkatan kinerja pembelajaran praktikum.

Langkah awal dalam prosedur pengadaan adalah identifikasi kebutuhan peralatan berdasarkan dokumen kurikulum dan Rencana Pembelajaran Semester (RPS), yang mana proses ini melibatkan dosen pengampu, koordinator laboratorium, dan tim teknis. Setelah kebutuhan terdefinisi, dilakukan kajian kelayakan teknis dan finansial, termasuk analisis siklus hidup alat, kemudahan perawatan, dan potensi integrasi dengan sistem laboratorium yang sudah ada. Selanjutnya, dilakukan seleksi vendor atau penyedia alat melalui mekanisme yang sesuai dengan regulasi institusi, dengan memperhatikan rekam jejak, garansi, layanan purna jual, dan kepatuhan terhadap standar keselamatan kerja.

Setelah daftar alat diperoleh, dilakukan proses verifikasi dan serah terima yang terdokumentasi, termasuk pengujian fungsi awal dan pencatatan dalam sistem inventaris laboratorium. Prosedur ini juga mencakup pelatihan penggunaan alat bagi laboran dan dosen, serta penyusunan petunjuk teknis dan protokol keselamatan yang menyertai alat tersebut. Dengan pengadaan yang terstruktur dan berbasis kebutuhan akademik, laboratorium dapat memastikan bahwa peralatan yang tersedia tidak hanya memenuhi standar minimum, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan kinerja pembelajaran, efisiensi operasional, dan keselamatan pengguna.

### 3.3 Inventarisasi dan Penandaan

Inventarisasi dan penandaan merupakan bagian fundamental dalam sistem pengelolaan peralatan laboratorium, yang mana proses ini bertujuan untuk menjamin keterlacakan aset, efisiensi pemanfaatan, serta akuntabilitas dalam pengawasan dan pelaporan. Setiap peralatan praktikum yang masuk ke dalam laboratorium wajib dicatat secara sistematis dalam sistem inventaris, baik berbasis digital maupun manual, dengan mencantumkan informasi yang mencakup nama alat, spesifikasi teknis, tahun pengadaan, lokasi penyimpanan, kondisi terkini, dan status pemakaian. Inventarisasi yang terstruktur memungkinkan laboratorium untuk melakukan evaluasi berkala terhadap kinerja alat, termasuk identifikasi alat yang perlu dikalibrasi, diperbaiki, atau diganti.

Penandaan fisik pada setiap alat dilakukan dengan pemberian kode identifikasi unik yang konsisten dengan sistem inventaris, yang mana kode tersebut harus mudah dibaca dan tahan terhadap kondisi lingkungan laboratorium. Label alat minimal mencantumkan nama alat, kode inventaris, dan unit laboratorium pemilik. Penandaan ini tidak hanya berfungsi sebagai identitas visual, tetapi juga sebagai bagian dari sistem pengendalian internal untuk mencegah kehilangan, penyalahgunaan, atau pemindahan alat tanpa izin.

Dalam laboratorium yang memiliki banyak alat sejenis, penandaan yang jelas juga akan membantu dalam proses penjadwalan penggunaan dan rotasi alat antar sesi praktikum.

Inventarisasi dan penandaan harus diperbarui secara berkala, minimal setiap semester, dan dilengkapi dengan audit tahunan yang dilakukan oleh tim laboratorium atau unit penjaminan mutu. Hasil audit digunakan sebagai dasar dalam perencanaan pengadaan, pemeliharaan, dan penghapusan aset. Dengan sistem inventarisasi dan penandaan yang baik, laboratorium dapat meningkatkan kinerja operasional, memperkuat akuntabilitas pengelolaan aset, dan mendukung pencapaian standar mutu pendidikan teknik secara berkelanjutan.

### 3.4 Pemeliharaan dan Kalibrasi

Pemeliharaan dan kalibrasi merupakan aspek penting dalam pengelolaan peralatan laboratorium yang bertujuan untuk menjaga keandalan fungsi alat, memperpanjang umur pakai, serta menjamin akurasi hasil praktikum. Setiap peralatan praktikum, terutama yang digunakan untuk pengukuran dan pengujian, harus berada dalam kondisi operasional yang optimal, yang mana hal ini hanya dapat dicapai melalui kegiatan pemeliharaan berkala dan kalibrasi yang terjadwal. Pemeliharaan mencakup tindakan preventif dan korektif terhadap komponen mekanik, elektrik, maupun sistem kontrol alat, yang dilakukan oleh tenaga teknis laboratorium sesuai dengan standar operasional prosedur (SOP) yang telah ditetapkan.

Kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa alat ukur memberikan hasil yang akurat dan konsisten, sesuai dengan standar referensi nasional atau internasional. Proses kalibrasi harus dilakukan minimal satu kali dalam setahun, atau lebih sering jika alat digunakan secara intensif atau memiliki tingkat sensitivitas tinggi. Hasil kalibrasi harus didokumentasikan secara rinci, mencakup tanggal pelaksanaan, metode kalibrasi, nilai penyimpangan, dan rekomendasi tindak lanjut. Dokumentasi ini menjadi bagian dari sistem penjaminan mutu laboratorium, yang mana data tersebut digunakan dalam audit internal maupun eksternal, serta sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait penggantian atau perbaikan alat.

Selain itu, pemeliharaan dan kalibrasi berkontribusi langsung terhadap peningkatan kinerja laboratorium, baik dari sisi keandalan alat, efisiensi operasional, maupun keselamatan pengguna. Alat yang tidak terpelihara dengan baik dapat menimbulkan risiko kecelakaan, kekeliruan data eksperimen, dan gangguan proses pembelajaran. Oleh karena itu, laboratorium wajib memiliki jadwal pemeliharaan dan kalibrasi yang terintegrasi dalam sistem manajemen laboratorium, yang mana pelaksanaannya harus diawasi oleh koordinator laboratorium dan dilaporkan secara berkala kepada unit penjaminan mutu institusi. Dengan sistem pemeliharaan dan kalibrasi yang terstruktur, laboratorium dapat memastikan bahwa seluruh peralatan praktikum berfungsi sesuai

standar, aman digunakan, dan mendukung pencapaian capaian pembelajaran secara optimal.

### 3.5 Penggunaan dan Penjadwalan

Penggunaan dan penjadwalan peralatan praktikum merupakan aspek operasional yang sangat menentukan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan kegiatan laboratorium, yang mana pengaturannya harus dilakukan secara terstruktur dan terdokumentasi. Setiap peralatan praktikum harus digunakan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan, baik dari sisi teknis maupun keselamatan kerja, agar tidak terjadi kerusakan alat, kecelakaan kerja, atau gangguan terhadap proses pembelajaran. Dalam hal ini, laboratorium wajib menyediakan sistem penjadwalan yang memungkinkan koordinasi antar mata kuliah, kelompok mahasiswa, dan dosen pengampu, sehingga tidak terjadi konflik penggunaan alat atau tumpang tindih jadwal praktikum.

Penjadwalan harus mempertimbangkan kapasitas laboratorium, jumlah alat yang tersedia, durasi praktikum, serta jenis kegiatan yang dilakukan. Untuk alat yang bersifat terbatas atau memiliki tingkat kompleksitas tinggi, penjadwalan harus dilakukan secara prioritas berdasarkan urgensi capaian pembelajaran dan tingkat keterlibatan mahasiswa. Sistem penjadwalan dapat berbasis digital atau manual, yang mana keduanya harus menjamin transparansi, kemudahan akses, dan fleksibilitas dalam penyesuaian jadwal. Selain itu, penggunaan alat harus melalui prosedur peminjaman dan pengembalian yang terdokumentasi, termasuk pengecekan kondisi alat sebelum dan sesudah digunakan.

Penggunaan oleh pihak eksternal, seperti mahasiswa dari program studi lain, dosen tamu, atau mitra industri, harus mendapatkan persetujuan dari koordinator laboratorium dan mengikuti protokol keselamatan serta tata tertib yang berlaku. Dalam konteks peningkatan kinerja laboratorium, sistem penggunaan dan penjadwalan yang baik akan mendukung optimalisasi pemanfaatan aset, mengurangi idle time alat, serta memperkuat akuntabilitas pengelolaan fasilitas pendidikan. Oleh karena itu, laboratorium perlu menetapkan kebijakan penggunaan dan penjadwalan yang selaras dengan standar mutu institusi dan kebutuhan akademik lintas program studi.

### 3.6 Persyaratan Luas dan Tata Ruang Laboratorium Praktikum

Persyaratan luas dan tata ruang laboratorium praktikum merupakan elemen penting dalam menjamin kelancaran, keselamatan, dan efektivitas kegiatan pembelajaran berbasis eksperimen, yang mana pengaturannya harus mempertimbangkan jumlah peserta, jenis kegiatan, serta karakteristik peralatan yang digunakan. Luas minimum ruang laboratorium ditentukan berdasarkan rasio ruang per mahasiswa, yaitu antara 2,5 hingga 4 meter persegi per orang, tergantung pada tingkat kompleksitas praktikum dan potensi risiko yang ditimbulkan oleh alat atau bahan yang digunakan. Praktikum yang

melibatkan peralatan berat, panas, atau bertegangan tinggi memerlukan ruang yang lebih luas untuk menjamin sirkulasi udara, ruang gerak, dan jarak aman antar pengguna.

Tata ruang laboratorium harus dirancang secara ergonomis dan fungsional, yang mana pembagian zona kerja menjadi aspek krusial dalam mendukung kinerja laboratorium. Zona kerja utama merupakan area tempat mahasiswa melakukan eksperimen, dilengkapi dengan meja kerja, alat utama, dan sumber daya pendukung seperti listrik dan air. Zona penyimpanan alat harus terpisah dan tertata rapi, baik dalam bentuk lemari tertutup maupun rak terbuka yang diberi label sesuai sistem inventaris. Zona keselamatan wajib mencakup lokasi alat pemadam api ringan (APAR), kotak P3K, dan jalur evakuasi yang ditandai dengan rambu yang jelas dan sesuai standar keselamatan kerja. Selain itu, zona dosen atau laboran perlu disediakan sebagai pusat kontrol dan dokumentasi, yang mana area ini juga berfungsi sebagai titik koordinasi dalam situasi darurat.

Kondisi fisik ruang laboratorium harus memenuhi standar pencahayaan minimum sebesar 300 lux untuk praktikum umum dan 500 lux untuk kegiatan presisi, serta memiliki sistem ventilasi yang memadai, baik alami maupun mekanis, terutama untuk laboratorium yang menghasilkan asap, gas, atau partikel berbahaya. Lantai laboratorium harus memiliki permukaan yang tidak licin dan mudah dibersihkan, serta dilengkapi dengan sistem drainase jika diperlukan. Penataan ruang yang baik tidak hanya meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan kinerja pembelajaran praktikum secara keseluruhan. Oleh karena itu, desain dan pengelolaan ruang laboratorium harus dilakukan secara terintegrasi dengan perencanaan kurikulum dan standar teknis laboratorium pendidikan.

### 3.7 Jumlah dan Rasio Peralatan Praktikum

Jumlah dan rasio peralatan praktikum merupakan indikator penting dalam menjamin keterlaksanaan kegiatan laboratorium secara efektif dan merata, yang mana pengaturannya harus disesuaikan dengan jumlah peserta, jenis praktikum, serta capaian pembelajaran yang ditargetkan. Peralatan praktikum tidak hanya berfungsi sebagai sarana eksperimen, tetapi juga sebagai media pembentukan keterampilan teknis mahasiswa, sehingga rasio alat terhadap pengguna harus memungkinkan setiap mahasiswa atau kelompok mahasiswa untuk berinteraksi langsung dengan alat tersebut. Dalam konteks laboratorium pendidikan teknik, rasio ideal untuk alat utama adalah satu unit untuk setiap dua hingga empat mahasiswa, tergantung pada kompleksitas alat dan intensitas penggunaannya dalam sesi praktikum.

Penentuan jumlah alat juga harus mempertimbangkan frekuensi pelaksanaan praktikum, jumlah sesi per minggu, serta kemungkinan rotasi antar kelompok. Untuk alat bantu dan alat keselamatan, seperti alat ukur pendukung, kacamata pelindung, atau sarung tangan, jumlahnya harus mencukupi untuk seluruh peserta dalam satu sesi,

tanpa perlu berbagi secara bergantian. Hal ini penting untuk menjaga kelancaran proses praktikum dan menghindari waktu tunggu yang tidak produktif, yang mana dapat menurunkan kinerja pembelajaran dan efisiensi operasional laboratorium.

Selain itu, jumlah alat harus disesuaikan dengan kapasitas ruang laboratorium dan sistem penjadwalan yang diterapkan. Dalam laboratorium dengan ruang terbatas, penambahan jumlah alat harus diimbangi dengan pengaturan jadwal yang lebih fleksibel atau pembagian sesi yang lebih kecil. Penyesuaian jumlah alat juga perlu mempertimbangkan aspek pemeliharaan dan ketersediaan suku cadang, agar tidak terjadi penumpukan alat yang tidak terpakai atau sulit dirawat. Oleh karena itu, perencanaan jumlah dan rasio peralatan praktikum harus dilakukan secara terpadu dengan analisis kebutuhan kurikulum, kapasitas ruang, dan strategi pengelolaan laboratorium, yang mana keseluruhannya bertujuan untuk mendukung pencapaian capaian pembelajaran secara optimal dan berkelanjutan.

### 3.8 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam laboratorium praktikum merupakan aspek yang tidak dapat dipisahkan dari sistem pengelolaan laboratorium secara keseluruhan, yang mana penerapannya bertujuan untuk melindungi seluruh pengguna laboratorium dari potensi bahaya fisik, kimia, mekanik, maupun biologis. Kegiatan praktikum yang melibatkan peralatan teknis, bahan berbahaya, atau proses berisiko tinggi harus dilaksanakan dalam lingkungan yang aman dan terkendali, sehingga tidak menimbulkan kecelakaan kerja, kerusakan alat, atau gangguan terhadap proses pembelajaran. Oleh karena itu, laboratorium wajib menerapkan standar K3 yang sesuai dengan regulasi nasional dan internasional, serta mengintegrasikannya ke dalam setiap prosedur operasional.

Setiap laboratorium harus dilengkapi dengan fasilitas keselamatan minimum, seperti Alat Pemadam Api Ringan (APAR) yang sesuai dengan jenis potensi kebakaran, kotak P3K yang lengkap dan mudah diakses, serta rambu-rambu keselamatan dan jalur evakuasi yang jelas dan sesuai standar. Selain itu, penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) seperti kaca pelindung, sarung tangan, masker, dan jas laboratorium harus diwajibkan sesuai dengan jenis praktikum yang dilaksanakan. Sebelum kegiatan praktikum dimulai, mahasiswa dan dosen pengampu wajib mengikuti briefing keselamatan yang mencakup pengenalan risiko, prosedur tanggap darurat, dan tata cara penggunaan alat secara aman.

Penerapan K3 juga mencakup pengendalian lingkungan kerja, yang mana sistem ventilasi, pencahayaan, dan kebersihan ruang harus dijaga agar tidak menimbulkan gangguan kesehatan atau risiko kontaminasi. Laboratorium harus memiliki sistem kontrol akses untuk mencegah penggunaan alat oleh pihak yang tidak berwenang, serta mekanisme pelaporan insiden yang terdokumentasi dan ditindaklanjuti secara

sistematis. Evaluasi dan audit K3 dilakukan secara berkala oleh tim laboratorium atau unit penjaminan mutu institusi, sebagai bagian dari upaya peningkatan kinerja keselamatan dan pemenuhan standar akreditasi.

Dengan penerapan K3 yang konsisten dan terintegrasi, laboratorium tidak hanya menjamin keselamatan pengguna, tetapi juga menciptakan budaya kerja yang disiplin, bertanggung jawab, dan profesional. Hal ini menjadi fondasi penting dalam mendukung keberhasilan pembelajaran praktikum dan menjaga reputasi institusi sebagai penyelenggara pendidikan teknik yang berkualitas dan berorientasi pada keselamatan kerja.

### 3.9 Kebutuhan dan Peran Sumber Daya Manusia Laboratorium

Sumber daya manusia laboratorium merupakan komponen esensial dalam menjamin kelangsungan operasional, keselamatan, dan mutu pelaksanaan praktikum, yang mana keberadaan dan kompetensinya harus disesuaikan dengan kompleksitas kegiatan laboratorium serta standar pendidikan teknik yang berlaku. Dalam struktur laboratorium pendidikan, terdapat beberapa peran utama yang harus diisi oleh personel yang kompeten, yaitu kepala laboratorium, teknisi, laboran, dan asisten praktikum. Masing-masing memiliki tanggung jawab yang saling melengkapi dalam mendukung kinerja laboratorium secara menyeluruh.

**Kepala laboratorium** bertanggung jawab atas pengelolaan strategis dan administratif laboratorium, termasuk perencanaan kebutuhan alat, pengawasan pelaksanaan K3, koordinasi antar unit, serta pelaporan kepada pimpinan institusi. Kepala laboratorium harus memiliki latar belakang akademik dan pengalaman teknis yang memadai, serta kemampuan manajerial untuk mengelola sumber daya secara efisien. **Teknisi laboratorium** berperan dalam pemeliharaan, perbaikan, dan kalibrasi peralatan, yang mana tugas ini membutuhkan keterampilan teknis spesifik dan pemahaman mendalam terhadap karakteristik alat yang digunakan. Teknisi juga menjadi penghubung antara kebutuhan akademik dan aspek teknis operasional.

**Laboran** bertugas dalam mendukung pelaksanaan praktikum harian, termasuk persiapan alat dan bahan, pendampingan mahasiswa, serta dokumentasi kegiatan. Laboran harus memiliki pengetahuan dasar yang relevan dengan bidang praktikum, serta keterampilan komunikasi dan keselamatan kerja. Sementara itu, **asisten praktikum**, yang umumnya berasal dari mahasiswa senior atau alumni, berperan dalam membantu dosen pengampu dalam pelaksanaan praktikum, memberikan bimbingan teknis kepada peserta, dan memastikan prosedur eksperimen dijalankan sesuai protokol. Asisten praktikum harus melalui pelatihan internal dan dinyatakan layak oleh koordinator laboratorium sebelum bertugas.

Jumlah personel laboratorium harus disesuaikan dengan skala kegiatan, jumlah mahasiswa, dan jenis praktikum yang dilaksanakan. Laboratorium dengan intensitas

tinggi dan risiko kerja yang besar memerlukan struktur SDM yang lebih lengkap dan proporsional. Selain itu, institusi wajib menyediakan program pengembangan kompetensi bagi seluruh personel laboratorium, yang mana pelatihan berkala, sertifikasi teknis, dan pembaruan pengetahuan menjadi bagian dari sistem penjaminan mutu. Dengan struktur SDM yang memadai dan kompeten, laboratorium dapat menjalankan fungsinya secara optimal, meningkatkan kinerja pembelajaran, serta menjamin keselamatan dan keberlanjutan operasional.

Sebagai bagian integral dari sistem pengelolaan laboratorium pendidikan teknik, kebutuhan sumber daya manusia (SDM) harus dirancang secara proporsional dan berbasis fungsi, yang mana penentuannya didasarkan pada skala kegiatan praktikum, jumlah peserta, serta kompleksitas alat dan eksperimen yang digunakan. SDM laboratorium tidak hanya berperan dalam mendukung pelaksanaan praktikum secara teknis, tetapi juga dalam menjamin keselamatan kerja, kelancaran operasional, dan pencapaian capaian pembelajaran. Oleh karena itu, struktur organisasi laboratorium harus mencakup peran-peran utama seperti kepala laboratorium, teknisi, laboran, dan asisten praktikum, yang masing-masing memiliki tanggung jawab spesifik dan saling melengkapi.

Penentuan jumlah personel untuk setiap peran harus mempertimbangkan rasio ideal terhadap jumlah mahasiswa per sesi praktikum, yang mana hal ini bertujuan untuk menjaga efisiensi kerja, menghindari beban berlebih, dan memastikan bahwa setiap peserta praktikum mendapatkan pendampingan yang memadai. Dalam laboratorium dengan intensitas tinggi, kebutuhan SDM cenderung meningkat, baik dari sisi jumlah maupun kompetensi teknis. Untuk itu, diperlukan suatu matriks kebutuhan SDM yang dapat dijadikan acuan dalam perencanaan dan pengalokasian personel laboratorium secara rasional dan terstandar. Tabel 3.1 berikut menyajikan matriks kebutuhan SDM laboratorium berdasarkan jumlah mahasiswa per sesi praktikum, yang mana komposisi ini dapat disesuaikan dengan karakteristik masing-masing institusi dan jenis laboratorium yang dikelola.

Tabel 3.1 Rasio Personel Laboratorium terhadap Jumlah Peserta Praktikum

Jumlah Mahasiswa per Sesi	Kebutuhan Kepala Laboratorium	Kebutuhan Teknisi	Kebutuhan Laboran	Kebutuhan Asisten Praktikum
≤ 20	1	1	1	1
21–40	1	1	2	2
41–60	1	2	3	3
> 60	1	3	4	4

Dalam rangka menjamin efektivitas pelaksanaan praktikum dan keselamatan peserta, penentuan jumlah asisten praktikum juga harus mempertimbangkan karakteristik laboratorium, tingkat risiko kegiatan, serta jumlah mahasiswa yang terlibat dalam satu sesi. Rasio ideal antara asisten dan praktikan tidak bersifat seragam, melainkan harus disesuaikan dengan konteks operasional masing-masing laboratorium. Laboratorium dengan tingkat risiko rendah dan kegiatan yang bersifat observasional dapat menggunakan rasio maksimum satu asisten untuk dua puluh mahasiswa, yang mana pendampingan bersifat supervisi umum. Sebaliknya, laboratorium dengan tingkat risiko tinggi, seperti laboratorium pengelasan, CNC, atau uji material, memerlukan rasio yang lebih kecil, misalnya satu asisten untuk sepuluh hingga lima belas mahasiswa, agar pendampingan teknis dan pengawasan keselamatan dapat dilakukan secara intensif (lihat Tabel 3.2).

Selain itu, beban kerja asisten praktikum juga dipengaruhi oleh jumlah kelompok kerja dalam satu sesi, durasi praktikum, dan kompleksitas alat yang digunakan. Oleh karena itu, institusi perlu menyusun format evaluasi beban kerja asisten yang mempertimbangkan variabel-variabel tersebut, yang mana hasil evaluasi dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan jumlah asisten yang dibutuhkan, penjadwalan tugas, serta pengembangan kompetensi (lihat Tabel 3.3). Evaluasi ini juga penting untuk menjaga kinerja pembelajaran dan mencegah kelelahan kerja yang dapat menurunkan kualitas pendampingan.

Tabel 3.2 Rasio Ideal Asisten Praktikum Berdasarkan Jenis Laboratorium dan Tingkat Risiko

Jenis Laboratorium	Tingkat Risiko	Rasio Ideal Asisten:Mahasiswa
Laboratorium Komputer / Simulasi	Rendah	1:25
Laboratorium Kimia Dasar	Sedang	1:20
Laboratorium Teknik Mesin / Otomotif	Sedang	1:15
Laboratorium Listrik / Elektronika	Sedang – Tinggi	1:15
Laboratorium Biologi / Mikrobiologi	Sedang – Tinggi	1:10
Laboratorium CNC / Pengelasan / Produksi	Tinggi	1:8

Tabel 3.3 Evaluasi Beban Kerja Asisten Praktikum

Jml Mahasiswa per Sesi	Jumlah Kelompok	Durasi Sesi (menit)	Kompleksitas Alat	Jml Asisten yg Direkomendasikan
20	4	90	Rendah	1
30	6	120	Sedang	2
40	8	150	Sedang	2
50	10	180	Tinggi	3

### 3.10 Pedoman Pelatihan dan Sertifikasi Asisten Praktikum

Untuk menjamin mutu pelaksanaan praktikum dan keselamatan kerja di laboratorium pendidikan teknik, institusi wajib menyelenggarakan program pelatihan dan sertifikasi bagi asisten praktikum, yang mana program ini bertujuan untuk membekali mereka dengan kompetensi teknis, pedagogis, dan keselamatan kerja yang sesuai dengan standar operasional laboratorium. Asisten praktikum memiliki peran strategis dalam mendampingi mahasiswa, menjelaskan prosedur eksperimen, serta memastikan bahwa kegiatan praktikum berjalan sesuai protokol. Dengan demikian, pelatihan yang sistematis dan sertifikasi yang terstandar menjadi syarat mutlak sebelum seorang asisten dapat ditugaskan secara resmi.

Program pelatihan asisten praktikum harus mencakup tiga komponen utama: (1) **penguasaan alat dan prosedur praktikum**, yang mana mencakup demonstrasi penggunaan alat, pemahaman SOP, dan troubleshooting dasar; (2) **keselamatan dan kesehatan kerja (K3)**, termasuk identifikasi risiko, penggunaan APD, penanganan bahan berbahaya, dan prosedur tanggap darurat; serta (3) **pendekatan pedagogis**, seperti teknik komunikasi efektif, pendampingan kelompok, dan etika akademik. Pelatihan dapat dilakukan secara internal oleh tim laboratorium atau melalui kerja sama dengan lembaga pelatihan eksternal yang diakui.

Setelah mengikuti pelatihan, asisten praktikum wajib menjalani proses sertifikasi yang terdiri dari evaluasi tertulis dan praktik langsung, yang mana hasilnya akan digunakan untuk menilai kelayakan tugas. Sertifikasi ini harus bersifat periodik dan diperbarui sesuai perkembangan teknologi dan prosedur laboratorium. Institusi juga perlu menyimpan rekam jejak pelatihan dan sertifikasi setiap asisten sebagai bagian dari sistem manajemen mutu laboratorium.

Dengan pelatihan dan sertifikasi yang terstruktur, laboratorium dapat memastikan bahwa asisten praktikum memiliki kompetensi yang memadai, mampu mendukung peningkatan kinerja pembelajaran, serta berkontribusi terhadap terciptanya lingkungan kerja yang aman dan profesional.

### 3.11 Strategi Penyediaan Peralatan Laboratorium

Strategi penyediaan peralatan laboratorium dalam pendidikan teknik mesin harus dilakukan secara bertahap, terencana, dan berbasis capaian pembelajaran. Setiap peralatan yang disediakan harus memiliki relevansi langsung terhadap bahan kajian praktikum dan CPMK yang ditetapkan dalam kurikulum inti BKSTM. Oleh karena itu, pendekatan strategis dimulai dari pemetaan kebutuhan praktikum, penentuan prioritas alat berdasarkan urgensi capaian pembelajaran, dan pengadaan yang mempertimbangkan efisiensi anggaran serta keberlanjutan operasional.

Institusi disarankan untuk menyusun peta jalan pengadaan peralatan laboratorium yang mengintegrasikan aspek akademik, teknis, dan finansial. Peta jalan ini dapat dibagi dalam fase-fase pengadaan, semisal fase pemenuhan alat dasar untuk praktikum wajib, fase penguatan alat untuk praktikum lanjutan, dan fase modernisasi alat untuk mendukung capstone design dan penelitian terapan. Selain itu, strategi modularisasi alat, yakni pengelompokan alat dalam paket praktikum tematik, dapat membantu efisiensi penggunaan dan pemeliharaan.

Dalam konteks keterbatasan sumber daya, strategi penyediaan peralatan laboratorium dapat diperkuat melalui **kerja sama lintas program studi, lintas fakultas, dan dengan mitra eksternal seperti industri atau lembaga pelatihan teknik**. Pendekatan ini memungkinkan optimalisasi aset yang sudah tersedia di lingkungan di dalam institusi maupun di luar institusi, yang mana pemanfaatannya harus diatur secara sistematis dan berlandaskan prinsip efisiensi, keselamatan, dan akuntabilitas.

Kerja sama lintas program studi dapat dilakukan dengan memanfaatkan laboratorium yang memiliki kesamaan kebutuhan alat atau bahan kajian praktikum, sebagai contoh antara Teknik Mesin dan Teknik Industri, atau Teknik Elektro dan Mekatronika. Dalam hal ini, laboratorium bersama dapat difungsikan sebagai fasilitas terpadu yang mendukung pembelajaran multidisiplin. Kerja sama lintas fakultas juga memungkinkan pemanfaatan laboratorium umum seperti laboratorium fisika dasar, kimia dasar, atau komputer, yang mana penggunaannya dapat diatur melalui sistem penjadwalan terintegrasi.

Sementara itu, kerja sama dengan mitra industri atau lembaga pelatihan teknik dapat dilakukan melalui skema pemanfaatan fasilitas eksternal untuk kegiatan praktikum tertentu, magang teknis, atau proyek capstone design. Institusi pendidikan dapat menjalin nota kesepahaman (MoU) dengan mitra industri untuk membuka akses terbatas dan terjadwal ke fasilitas produksi, pengujian, atau perakitan yang relevan dengan kurikulum.

Agar kerja sama ini berjalan efektif dan aman, institusi perlu menetapkan **kebijakan pemanfaatan lintas unit dan lintas institusi** yang mencakup:

- **Sistem penjadwalan dan reservasi** yang transparan dan dapat diakses oleh seluruh pengguna.

- **Protokol keselamatan kerja dan orientasi pengguna** sebelum pelaksanaan praktikum.
- **Dokumentasi penggunaan alat dan pelaporan kondisi alat** setelah digunakan.
- **Penanggung jawab teknis dan akademik** untuk setiap sesi praktikum lintas unit.
- **Evaluasi berkala terhadap efektivitas dan risiko kerja sama.**

Dengan kebijakan yang jelas dan sistem pengelolaan yang terintegrasi, kerja sama lintas unit dan eksternal dapat menjadi solusi strategis dalam penyediaan peralatan laboratorium, sekaligus memperkuat kolaborasi akademik dan industri dalam pendidikan teknik mesin.

## Bab 4 Penutup

Dokumen *Pedoman Standar Minimum Laboratorium (SML)* ini disusun sebagai landasan normatif dan operasional dalam pengelolaan laboratorium pendidikan teknik yang berbasis kurikulum nasional dan kebutuhan industri. Pedoman ini dirancang untuk menjawab tantangan dalam pelaksanaan praktikum yang semakin kompleks, yang mana keberhasilan kegiatan laboratorium sangat bergantung pada keterpaduan antara peralatan, ruang, sumber daya manusia, dan sistem keselamatan kerja. Melalui pengaturan yang sistematis dan terukur, SML ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja laboratorium dalam mendukung pencapaian capaian pembelajaran, memperkuat budaya keselamatan, serta menjamin efisiensi dan akuntabilitas pengelolaan aset pendidikan.

Seluruh bab dalam dokumen ini telah menguraikan secara rinci aspek-aspek penting yang harus diperhatikan dalam pengelolaan laboratorium, mulai dari tujuan dan prosedur pengadaan peralatan, sistem inventarisasi dan pemeliharaan, penjadwalan penggunaan, hingga persyaratan ruang dan kebutuhan sumber daya manusia. Penekanan khusus juga diberikan pada aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), serta pelatihan dan sertifikasi bagi asisten praktikum, yang mana keduanya merupakan fondasi utama dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman dan profesional.

Namun demikian, pedoman ini bukanlah dokumen yang bersifat statis. Perkembangan teknologi, perubahan kurikulum, dan dinamika kebutuhan industri menuntut adanya pembaruan dan penyesuaian secara berkala. Oleh karena itu, institusi pendidikan tinggi perlu membentuk mekanisme evaluasi dan revisi dokumen SML secara periodik, melibatkan para pemangku kepentingan seperti dosen, teknisi, laboran, mahasiswa, dan mitra industri. Dengan pendekatan partisipatif dan berbasis data, dokumen ini dapat terus relevan dan adaptif terhadap perubahan zaman.

Akhir kata, implementasi SML ini memerlukan komitmen kolektif dari seluruh elemen institusi. Kepala laboratorium, dosen pengampu, teknisi, laboran, dan asisten praktikum harus bekerja secara sinergis dalam mewujudkan laboratorium yang tidak hanya memenuhi standar minimum, tetapi juga menjadi pusat pembelajaran yang inovatif, aman, dan berdaya saing. Semoga dokumen ini dapat menjadi pijakan yang kokoh dalam pengembangan laboratorium pendidikan teknik di Indonesia, terkhusus pendidikan teknik mesin.