I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

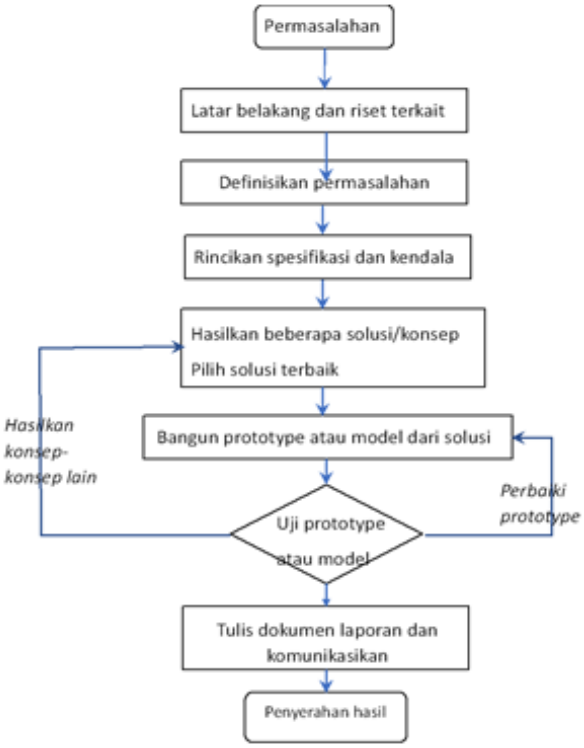
Paradigma pendidikan tinggi telah bergeser untuk menjawab kebutuhan masyarakat akan praktisi andal yang siap menghadapi tantangan berlapis dari pesatnya kemajuan teknologi dan dinamika ekonomi global. Menyikapi hal itu, Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Widya Gama menerapkan pendekatan Outcome-Based Education (OBE) dengan menata ulang kurikulum dan menyiapkan perangkat pembelajaran yang dapat diadopsi program studi guna melahirkan lulusan yang berkompeten. Kompetensi tersebut dibangun dengan memperkaya wawasan global, memperkuat landasan intelektual, melatih komunikasi yang jelas, serta menumbuhkan nalar kreatif dan kritis. Selain itu, mahasiswa diarahkan untuk memecahkan masalah nyata, membangun komunitas dan budaya berpikir yang terlibat, mempertebal tanggung jawab serta nilai budaya dan etika, sekaligus peka memprediksi dampak sains dan teknologi bagi masyarakat.

Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Widya Gama menyiapkan perangkat pembelajaran yang dapat dimanfaatkan mahasiswa dan dosen untuk meraih beragam capaian melalui mata kuliah (MK). Perangkat ini juga mengarahkan bentuk kolaborasi dosen–mahasiswa dengan industri dan masyarakat. Seiring bergesernya perhatian publik terhadap pendidikan—dipicu oleh laju inovasi dan perkembangan teknologi—fokus dan filosofi sistem pendidikan perlu disesuaikan. Karena itu, selama studi hingga lulus sebagai sarjana teknik, mahasiswa dibekali berbagai pengalaman belajar: perkuliahan di kelas, praktik laboratorium, kerja praktek/magang di industri, proyek mandiri maupun tim (termasuk tugas akhir), serta keterlibatan dalam proyek capstone.

Capstone Project pertama kali diperkenalkan di perguruan tinggi Amerika Serikat pada pertengahan abad ke-20 dan sejak itu menjadi komponen penting kurikulum bidang rekayasa dan teknologi. Praktik ini kemudian diadopsi secara luas di berbagai negara; di Eropa, mata kuliah sepadan dikenal sebagai ***Module Capstone***. Secara umum, mata kuliah capstone juga menjadi salah satu persyaratan dalam akreditasi bidang teknik atau LAM Teknik. Pada saat ini lembaga akreditasi nasional yaitu Lembaga Akreditasi Mandiri (LAM) Teknik maupun badan akreditasi internasional bidang teknik yaitu *Indonesian Accreditation Board for Engineering Education*

(IABEE) dan *Acreditation Board for Enginering and Technology* (ABET) mensyaratkan MK *Capstone* sebagai mata kuliah wajib.

Pada mata kuliah ini, mahasiswa bekerja secara kolaboratif dalam proyek yang menuntut penerapan terpadu pengetahuan dari semester-semester sebelumnya untuk menyelesaikan persoalan nyata. Untuk memperjelas tujuan dan unsur kunci *Capstone Project*, acuan yang digunakan adalah dokumen ABET mengenai desain rekayasa (*engineering design*) sebagai berikut: Desain rekayasa merupakan rangkaian aktivitas untuk merancang sistem, komponen, atau proses agar memenuhi kebutuhan dan spesifikasi yang ditetapkan, dengan tetap mematuhi berbagai batasan (*constraints*). Proses ini bersifat kreatif dan iterative serangkaian pengambilan keputusan yang memanfaatkan ilmu dasar, matematika, dan rekayasa untuk mengubah sumber daya menjadi solusi. Kegiatannya meliputi mengenali peluang, merumuskan kebutuhan, melakukan analisis dan sintesis, menghasilkan beberapa alternatif, mengevaluasi alternatif terhadap kebutuhan, mempertimbangkan risiko, serta melakukan *trade-off* guna memperoleh solusi berkualitas tinggi dalam kondisi tertentu. Contoh batasan yang kerap dipertimbangkan antara lain aksesibilitas, estetika, ketentuan/kode, kemudahan konstruksi (*constructability*), biaya, ergonomi, kemampuan untuk dikembangkan/dilanjutkan, kegunaan, interoperabilitas, aspek hukum, kemudahan pemeliharaan, kemudahan manufaktur, daya jual, kebijakan, regulasi, jadwal, standar, keberlanjutan, dan kebermanfaatan.



Gambar 1. Bagan Alir Tahapan Rekayasa

Di luar aspek-aspek sebelumnya, khusus pada ranah rekayasa, mahasiswa perlu memahami metode serta prosedur kerja yang ditempuh secara sistematis. Sebagai ilustrasi, Gambar 1 menampilkan bagan alir yang merinci tahapan rekayasa mulai dari perumusan masalah hingga penyerahan solusi dengan memasukkan siklus umpan balik yang bersifat iteratif. Dalam perspektif yang lebih luas seiring isu-isu global kini dan ke depan lulusan teknik yang memasuki dunia kerja perlu dibekali kompetensi yang selaras dengan tuntutan dan kebutuhan masyarakat yang terus berubah. Sejumlah lembaga pendidikan internasional telah merumuskan keterampilan inti yang harus dikuasai insinyur atau engineer, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Ketrampilan Insinyur di Masa Datang (Duarte, 2020)

Kemampuan	UNESCO	ENAEE	ABET	NAE
Kuat di latar belakang teknik- saintifik	√	√	√	√
Interdisipliner	√	√		
Bekerja di tim yang kompleks	√	√		
Meningkatkan kualitas hidup untuk semua	√	√		√

Penggunaan sumber daya global yang rasional	√			√
Tanggung jawab sosial	√	√	√	√
Tanggung jawab lingkungan	√	√	√	√
Mengembangkan masyarakat yang berkelanjutan	√	√	√	√
Teknologi ramah lingkungan	√		√	√
Tanggung jawab kultural		√	√	√

Keterangan

- UNESCO : *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*
- ENAEE : *European Network for Accreditation of Engineering Education*
- ABET : *Accreditation Board for Engineering and Technology*
- NAE : *National Academy of Engineering (NAE) (USA)*

Berbagai aspek penting tersebut dapat diintegrasikan ke dalam kurikulum, terutama melalui pelaksanaan mata kuliah capstone. Dalam kegiatan ini, mahasiswa dapat mengidentifikasi permasalahan yang akan dijadikan topik sekaligus sumber ide. Topik capstone dapat berasal dari berbagai pihak, seperti industri, organisasi, atau komunitas di luar kampus, maupun dari gagasan mahasiswa atau dosen pembimbing. Jika topik berasal dari industri, biasanya terdapat dukungan dalam bentuk pendanaan atau bantuan lainnya, seperti penyediaan peralatan, fasilitas pengukuran, maupun sarana fabrikasi.

1.2. Pengertian Umum

Capstone Design merupakan mata kuliah yang menjadi puncak dari proses pembelajaran mahasiswa, di mana mereka merancang solusi atas permasalahan rekayasa yang kompleks dengan mempertimbangkan aspek standar, keselamatan, ekonomi, lingkungan, budaya, sosial, manufaktur, dan keberlanjutan. Pelaksanaannya menggunakan pendekatan *project-based learning* berbasis tim, sejalan dengan Indikator Kinerja Utama (IKU) poin 7 dan prinsip *Outcome Based Education (OBE)* yang ditetapkan oleh lembaga akreditasi nasional maupun internasional.

Menurut ABET, capstone adalah pengalaman akhir mahasiswa dalam merancang inovasi teknik dengan menerapkan pengetahuan dari berbagai mata kuliah sebelumnya melalui proses rekayasa yang benar untuk menghasilkan rancangan produk yang nyata.

1.3. Pengertian Khusus

Mata kuliah *Capstone Design* pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Widya Gama berfungsi sebagai wadah untuk menilai kemampuan mahasiswa dalam beberapa aspek, yaitu: (i) merencanakan dan melaksanakan suatu proyek, (ii) merumuskan permasalahan atau proyek teknik yang bersifat kompleks, (iii) menyelesaikan permasalahan tersebut melalui alternatif desain yang optimal dan efisien dengan mempertimbangkan batasan serta persyaratan yang realistis, (iv) bekerja secara kolaboratif dalam tim, dan (v) berkomunikasi secara efektif.

1.4.Tujuan

Tujuan dari mata kuliah Capstone Design/Project meliputi beberapa aspek berikut:

1. Membentuk karakter mahasiswa agar menjadi profesional yang mandiri dan mampu berkontribusi melalui bidang keahliannya.
2. Memberikan pengalaman dalam menyelesaikan permasalahan nyata dengan menerapkan pengetahuan yang telah diperoleh selama studi.
3. Mengembangkan kemampuan mahasiswa dalam menerapkan proses rekayasa (*engineering process*) untuk memecahkan persoalan dunia nyata.
4. Meningkatkan keterampilan *soft skills* seperti komunikasi, koordinasi, kerja sama, dan tanggung jawab.
5. Menunjukkan penguasaan pengetahuan dan keterampilan teknik melalui penerapan pendekatan rekayasa yang tepat dan profesional dalam penyelesaian masalah.
6. Mendorong mahasiswa untuk mengoptimalkan potensi diri, bekerja efektif dalam tim, serta menemukan peluang inovasi dari solusi yang dihasilkan.
7. Memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk mempersiapkan karier profesional di bidang keteknikan, maupun mengembangkan *startup* dan wirausaha berbasis teknologi.

1.5. Manfaat

Manfaat pelaksanaan mata kuliah Capstone Design/Project antara lain mendorong mahasiswa untuk:

1. Mengembangkan kemampuan dalam menyelesaikan permasalahan secara sistematis melalui proses perancangan yang sesuai dengan standar teknik.
2. Mengasah keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis dan kreatif, kemampuan berkomunikasi, serta kolaborasi yang efektif dalam tim.

3. Menerapkan pengetahuan dari berbagai mata kuliah sebelumnya untuk merancang solusi inovatif yang tetap memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan, mencakup dimensi ekonomi, sosial, *soft skills*, dan faktor relevan lainnya.

1.6. Ketentuan MK Capstone Design di Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Widya Gama

Ketentuan pelaksanaan mata kuliah Capstone Design adalah sebagai berikut:

1. Merupakan mata kuliah puncak dari kelompok mata kuliah inti dalam kurikulum program studi S1 Teknik Mesin
2. Memiliki karakteristik yang berfokus pada kegiatan perancangan (*design*) atau proyek.
3. Harus memiliki keterkaitan langsung dengan Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) program studi.
4. MK. Capstone Design merupakan Mata kuliah dengan kategori Paralel atau dapat ditempuh pada semester ganjil / genap.
5. MK Capstone Design dapat ditempuh minimal pada semester 6 atau telah menempuh 120 sks.
6. MK Capstone Design memiliki bobot 3 (tiga) SKS.
7. MK. Capstone Design ditempuh dalam satu semester.
8. Penyusunan Rencana Pembelajaran Semester (RPS) MK. Capstone Design dilakukan oleh Tim Rumpun Mata Kuliah (RMK) program studi.
9. Dosen pembimbing utama berasal dari departemen tempat mahasiswa terdaftar.
10. Dosen pembimbing pendamping dapat berasal dari dosen program studi S1 Teknik Mesin, dosen luar program studi S1 Teknik Mesin, atau dari kalangan praktisi.
11. Setiap proyek capstone wajib dibimbing oleh minimal satu dosen.
12. Evaluasi dilakukan berdasarkan tiga tahap, yaitu evaluasi proposal, evaluasi laporan kemajuan, dan evaluasi luaran (pameran karya teknologi).
13. Luaran wajib dari MK Capstone Design: *prototype*, panduan *prototype,* dan Hak Kekayaan Intelektual (HAKI).
14. Mata kuliah capstone dapat dikonversi dari kegiatan pembelajaran lain yang menghasilkan luaran setara, dengan kesesuaian minimal 80% terhadap CPMK serta memenuhi kriteria evaluasi dan keluaran.

15. Pelaksanaannya dilakukan secara berkelompok, dengan jumlah anggota minimal dua orang mahasiswa dan maksimal 6 orang mahasiswa.
16. Biaya perancangan *prototype* maksimal Rp. 1.000.000,- (satu juta rupiah) dan sudah termasuk biaya Hak Kekayaan Intelektual (HAKI).
17. Sumber pendanaan kegiatan dapat berasal dari mahasiswa, departemen, maupun mitra kerja sama, baik dari dalam maupun luar negeri.

II

CAPAIAN PEMBELAJARAN *CAPSTONE DESIGN*

2.1. Identitas Mata Kuliah *Capstone Design*

a. Nama Mata Kuliah : Capstone Design
b. Kode Mata Kuliah : MSN - 772
c. Beban Studi : 3 sks
d. Status : Mata Kuliah Wajib Program Studi
e. Semester : 7
f. Prasyarat : ≥ 120 SKS
g. Praktikum : Ada
h. Tugas : Ada

2.2. Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) pada Mata Kuliah *Capstone Design*

a. Mampu merancang serta mengembangkan pemecahan masalah rekayasa mekanika dengan memperhatikan aspek lingkungan dan keberlanjutan (b)
b. Mampu mengidentifikasi, merumuskan, menganalisis, dan menyelesaikan permasalahan pada sistem rekayasa mekanika (d)
c. Mampu memanfaatkan teknik, keterampilan, dan peralatan teknologi modern dalam praktik rekayasa mekanika (e)
d. Mampu berkomunikasi secara efektif, baik lisan maupun tulisan, dalam Bahasa Indonesia maupun bahasa asing (f)
e. Mampu menerapkan prinsip kewirausahaan, serta mengelola proyek dan biaya dengan teliti (g)
f. Mampu bekerja mandiri maupun berkolaborasi secara aktif dalam tim monodisiplin maupun multidisiplin (h)
g. Memiliki motivasi dan kemampuan untuk terus belajar sepanjang hayat (j)

2.3. Capaian Pembelajaran (CPMK) pada Mata Kuliah *Capstone Design*

1. Mahasiswa mampu mengidentifikasi kebutuhan dan permasalahan teknik serta merumuskan spesifikasi desain yang realistis dan terukur.
2. Mahasiswa mampu merancang, menganalisis, dan mengembangkan solusi teknik yang meliputi desain detail, analisis rekayasa, serta pembuatan dan pengujian prototipe.
3. Mahasiswa mampu menyusun laporan teknis, mempresentasikan hasil proyek secara profesional, serta menunjukkan sikap kerja sama, tanggung jawab, dan etika profesi.

2.4. Pokok Bahasan pada Mata Kuliah *Capstone Design*

1. Design requirement and objective (DRO) identifikasi kebutuhan dan masalah, batasan realistik, persyaratan disain;
2. Conseptual design: pengembangan dan evaluasi beberapa konsep alternatif;
3. Detailed design: disain masing-masing komponen (ukuran, toleransi);
4. Proses manufaktur;

5. Engineering analysis: analisa gaya dan tegangan, pemilihan material;
6. Laporan tahap I: gambar mesin, laporan awal, presentasi, Penyempurnaan desain pada Proyek Perancangan I;
7. Pembuatan prototype;
8. Laporan tahap II: laporan akhir, panduan teknologi; hak cipta; pameran inovasi teknologi.

2.5. Kepustakaan

1. Ullman, D. G. <The Mechanical Design Process=, 4th edition, McGraw- Hill Higher Education, 2010
2. Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H. <Engineering Design: A Systematic Approach=, 3rd edition, Springer. 2007
3. Dieter, G. E.; Schmidt, L. C. <Engineering Design=, 5th edition, McGraw-Hill, 2013.

III
METODE PEMBELAJARAN *CAPSTONE DESIGN*

Mata Kuliah Capstone Design/ Project dalam pelaksanaannya menggunakan metode *Project Based Learning* atau disingkat dengan PjBL.

3.1. Definisi *Project Based Learning*

Project Based Learning (PjBL) merupakan metode pembelajaran yang berfokus pada pelaksanaan proyek atau kegiatan untuk memecahkan permasalahan nyata dan kompleks. Dalam prosesnya, mahasiswa terlibat aktif dalam eksplorasi, perumusan pertanyaan, pengumpulan dan analisis informasi, penilaian, interpretasi, serta sintesis untuk menghasilkan berbagai bentuk capaian pembelajaran. Metode ini menempatkan proyek sebagai titik awal pembelajaran, di mana mahasiswa menggali permasalahan dunia nyata dan mengaitkannya dengan pengetahuan baru yang diperoleh melalui pengalaman langsung. Dalam pelaksanaannya, dosen berperan

sebagai pembimbing, motivator, dan fasilitator yang mendukung mahasiswa selama proses belajar berlangsung.

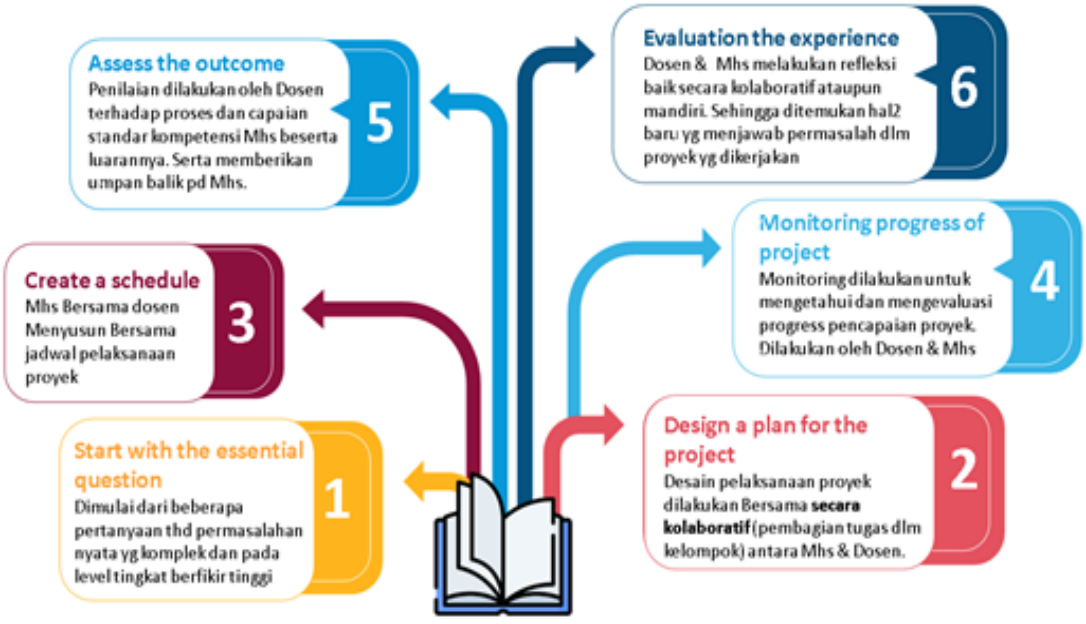
3.2. Tujuan Project Based Learning

Penerapan suatu model pembelajaran tentu mengandung tujuan yang hendak dicapai. Adapun tujuan *Project Based Learning* (PjBL) adalah sebagai berikut:

1. Melatih sikap proaktif mahasiswa dalam memecahkan suatu masalah.
2. Mengasah kemampuan mahasiswa dalam menguraikan suatu permasalahan di kelas.
3. Meningkatkan keaktifan mahasiswa di kelas dalam menyelesaikan permasalahan yang kompleks sampai diperoleh hasil nyata.
4. Mengasah keterampilan mahasiswa dalam memanfaatkan alat dan bahan di kelas guna menunjang aktivitas belajarnya.
5. Melatih sifat kolaboratif mahasiswa.

3.3. Tahapan *Project Based Learning* (PjBL)

Tahapan *Project Based Learning* (PjBL) tersusun dalam alur kegiatan pembelajaran yang jelas dan terstruktur seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Tahapan *Project Based Learning* (PjBL), (ITS, 2023)

Adapun tahapan model pembelajaran *project based learning*, sebagai berikut:

1. *Start with the essential question*

   Dimulai dari beberapa pertanyaan terhadap permasalahan nyata yang kompleks dan pada level tingkat berfikir tinggi.

2. *Design a plan for the project*

   Desain pelaksanaan proyek dilakukan bersama secara kolaboratif (pembagian tugas dalam kelompok) antara mahasiswa dan dosen.

3. *Create a schedule*

   Mahasiswa menyusun bersama jadwal pelaksanaan proyek dan dikonsultasikan dengan dosen.

4. *Monitoring progress of the project*

   Monitoring dilakukan untuk mengetahui dan mengevaluasi progress pencapaian proyek. Dilakukan oleh mahasiswa dan dosen. Mahasiswa melakukan presentasi.

5. *Assess the outcome*

   Penilaian dilakukan oleh dosen dan mahasiswa terhadap proses dan capaian standar kompetensi mahasiswa beserta luarannya. Serta memberikan umpan balik pada mahasiswa.

6. *Evaluation the experience*

   Mahasiswa dan dosen melakukan refleksi baik secara kolaboratif ataupun mandiri. Sehingga ditemukan hal-hal baru yang menjawab permasalahan dalam proyek yang dikerjakan.



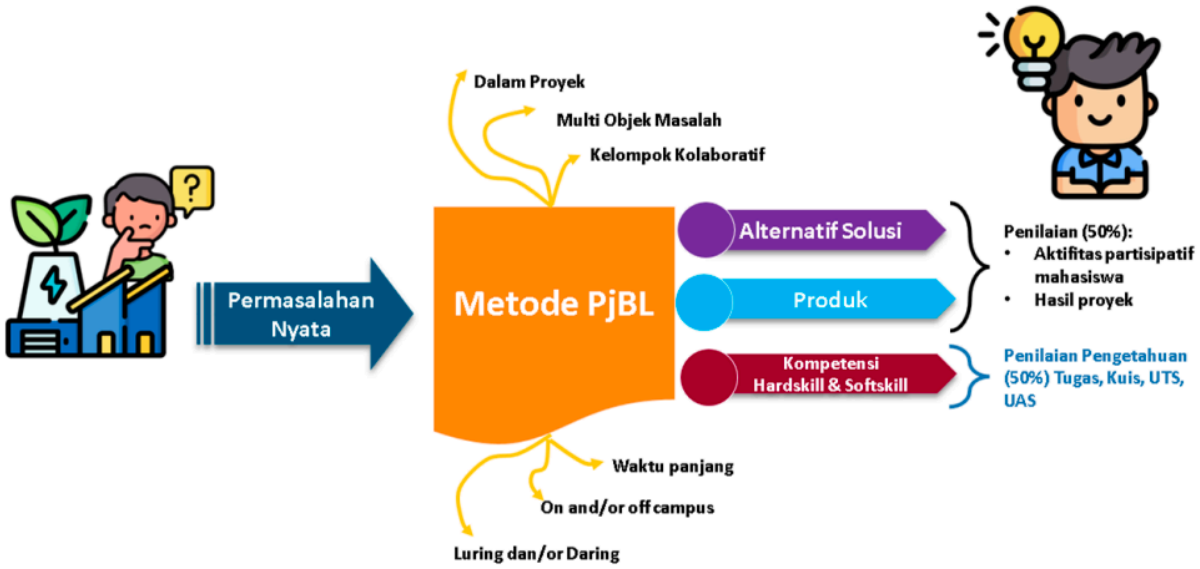
Gambar 3. Tahapan Metode PjBL pada MK. Capstone Design

Tahapan - tahapan pada metode PjBL pada MK. Capstone Design dijelaskan sebagai berikut:

1. Kelas dibagi menjadi kelompok lebih dari 1 (satu) mahasiswa untuk mengerjakan tugas bersama selama jangka waktu yang ditentukan.
2. Kelompok diberikan masalah nyata yang terjadi di masyarakat atau pertanyan kompleks, lalu diberikan ruang untuk memuat rencana kerja dan model kolaborasi.
3. Setiap kelompok mempersiapkan presentasi / karya akhir yang ditampilkan di depan dosen, kelas, atau *audiens* lainnya yang dapat memberikan umpan balik yang konstruktif.
4. Dosen membina setiap kelompok selama periode pekerjaan proyek dan mendorong mahasiswa untuk berpikir kritis dan kreatif dalam kolaborasi.

3.4. Metode *Project Based Learning* pada MK Capstone Design

Implementasi di dalam penyelenggaraan MK kategori *Capstone Design/ Project* dengan menggunakan metode Project Based Learning (PjBL). Ciri-ciri di dalam menggunakan PjBL diilustrasikan pada gambar di bawah ini. Harus ada permasalahan yang nyata di lapangan baik di masyarakat atau di industri. Permasalahan ini perlu diidentifikasi dengan cara menggunakan data dan menguasai konsep pengetahuan yang telah dimilikinya.



Gambar 4. Metode PjBL pada MK. Capstone Design

Metode PjBL diawali dengan permasalahan nyata. Metode PjBL ini memiliki 6 ciri, yaitu: (i) masalah bersifat multi objek, (ii) penyelesaian masalah sebagai bentuk proyek, (iii) dilaksanakan secara kelompok yang bersifat kolaboratif, (iv) dapat dilaksanakan secara luring dan atau daring, (v) dapat dilaksanakan di dalam dan /atau di luar kampus (*on* dan atau *off campus*), dan (vi) penyelesaian proyek membutuhkan waktu yang panjang. Penggunaan metode PjBL menghasilkan 3 (tiga) luaran, yaitu:

1. Alternatif solusi
2. Produk (Prototype, Panduan Prototype, Hak Kekayaan Intelektual (HAKI))
3. Kompetensi *Hardskill* dan *Softskill*

Penilaian terhadap aktifitas pembelajaran dengan bentuk PjBL, dapat dilakukan pada proses dan hasil aktifitas, sebagai contoh dengan berdasarkan 3 luaran tersebut, dilakukan penilaian atas setiap indikator pada hasil luaran.

1. Penilaian terhadap: Alterantif solusi

   Bobot penilaian sebesar 50 %: meliputi aktifitas partisipatif mahasiswa dan hasil proyek.
2. Produk

   Bobot penilaian 50 % yaitu meliputi aktifitas partisipatif setiap anggota dalam tim (mahasiswa) dan hasil proyek (Prototype, Panduan Prototype, Hak Kekayaan Intelektual (HAKI)).

3. Kompetensi *Hardskill* dan *Softskill*

   Bobot penilaian terhadap penguasaan pengetahuan 50% yang meliputi evaluasi proposal, evaluasi laporan kemajuan, dan evaluasi luaran (pameran karya teknologi)

3.5. *Project* dan *Project* Based Learning

A. Project:

1) Tugas didasarkan pada arahan dari dosen dan diulang dari tahun ke tahun.
2) Biasanya dilakukan secara individu.
3) Dilakukan secara mandiri, seringkali di rumah.
4) Berfokus pada produk, produk bahkan dapat disebut "proyek".
5) Tidak otentik untuk dunia nyata atau untuk siswa Live.

B. Project Based Learning

1) Proyek adalah unit, atau bagian utama untuk mengajarkan standar isi dalam suatu unit.
2) Tugas bersifat terbuka dan melibatkan suara dan pilihan siswa, seringkali berbeda dari tahun ke tahun.
3) Dilakukan dengan kerjasama tim.
4) Dilakukan dengan bimbingan dosen, sebagian besar selama jam kuliah.
5) Proyek ini mencakup proses penyelidikan berkelanjutan dan penciptaan produk.
6) Otentik dengan dunia nyata atau kehidupan siswa atau keduanya.



Gambar 5. Perbedaan *Project* dan *Project Based Learning*

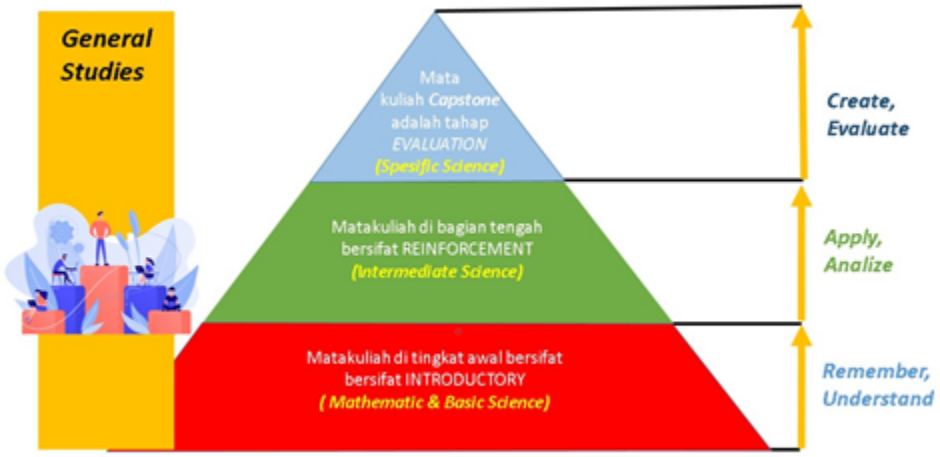
3.6. Pembelajaran berbasis proyek PjBL

1. Dimulai dengan penugasan untuk melaksanakan satu atau lebih tugas yang mengarah pada produksi produk akhir (desain, model, perangkat, atau simulasi *computer*).
2. Puncak dari proyek adalah laporan tertulis dan/atau lisan yang meringkas prosedur yang digunakan untuk menghasilkan produk dan menyajikan hasilnya.

IV
IMPLEMENTASI MATA KULIAH CAPSTONE DESIGN

4.1. Hirarki Cluster Organisasi Mata Kuliah

Dalam hirarki *cluster* organisasi mata kuliah dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu mata kuliah di tingkat awal yang bersifat *introductory*, mata kuliah di bagian tengah bersifat *reinforcement*, dan mata kuliah *capstone* adalah tahap *evaluation*.



Gambar 6. Hirarki Cluster Organisasi Mata Kuliah

4.2. Karakteristik *Capstone Design*

Karakteristik *Capstone Design/Project* dapat dilihat sebagai berikut:

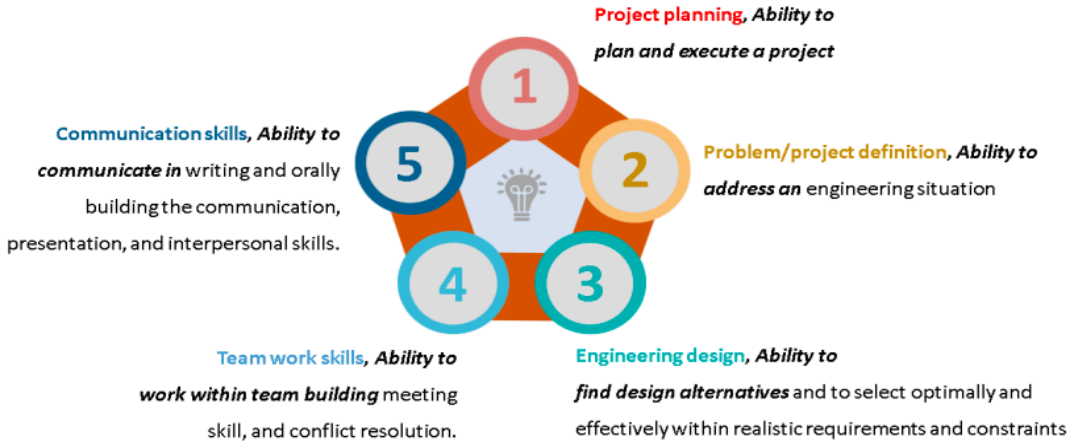
1. Mata Kuliah wajib dalam program studi S1 Teknik Mesin yang terakreditasi.
2. Memberikan pengalaman kepada mahasiswa tentang proyek teknik yang sifatnya terbuka dengan berbagai persyaratan dan kendala yang sifatnya realistis.
3. Memberikan pengalaman dan lingkungan yang sangat baik untuk: mengamati, mengembangkan, dan mendokumentasikan kompetensi profesional mahasiswa dan pencapaiannya dalam mendukung akreditasi program.
4. Mata Kuliah *Capstone Design* sebagai sarana di mana aspek non teknis serta teknis yang menyebabkan kesuksesan dalam karir teknik seseorang.
5. Melalui Mata Kuliah *Capstone Design* dimaksudkan untuk mengembangkan berbagai keterampilan mahasiswa, dalam rangka menjadi insinyur yang lebih baik.

Suatu pekerjaan proyek dalam masalah rekayasa di dunia nyata, sifatnya terbuka (sesuai dengan fakta), dan bersifat interdisipliner (jika memungkinkan) melalui:

1. Mengkaji materi yang berkorelasi dengan realisasi dan visualisasi rekayasa,
2. Memformulasikan / mendefinisikan masalah rekayasa dari visualisasi dan persyaratan fungsionalnya,
3. Merencanakan proyek,
4. Mendesain proses rekayasa,
5. Memilih alternatif solusi,
6. Menganalisis hasil alternatif solusi,
7. Mengidentifikasi resiko dan strategi dalam penanggulangan,
8. Pembuatan *prototype.*

4.3. Lima Elemen *Kemampuan*

Lima elemen kemampuan *Capstone Design/ Project* ditunjukkan gambar berikut:



Gambar 7. Lima Elemen Kemampuan *Capstone Design/ Project*

Terdapat 5 elemen *Capstone Design/ Project* sebagai berikut:

1) **Perencanaan proyek** – Kemampuan untuk merencanakan dan melaksanakan suatu proyek.
2) **Perumusan masalah/proyek** – Kemampuan untuk mengidentifikasi dan menangani situasi dalam bidang rekayasa.
3) **Perancangan teknik (engineering design)** – Kemampuan untuk menemukan alternatif

desain serta memilih solusi yang optimal dan efektif dengan mempertimbangkan persyaratan serta batasan yang realistis.

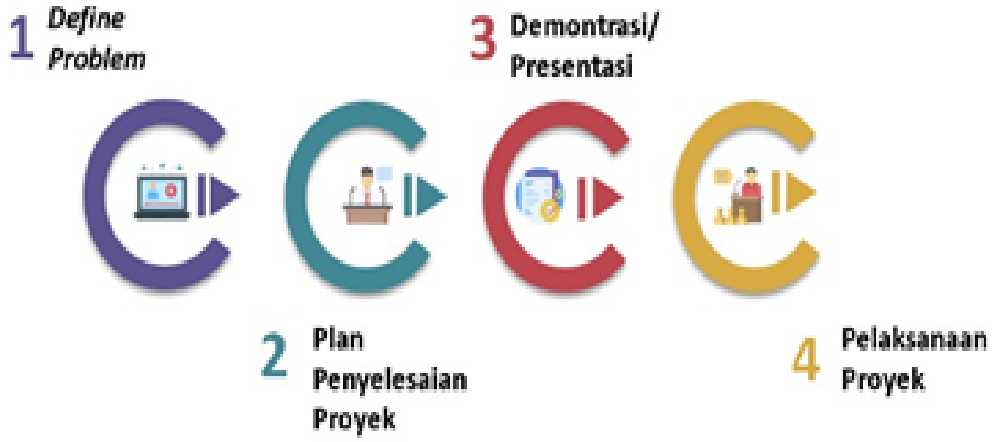
4) **Kemampuan kerja tim** – Kemampuan untuk bekerja dalam tim, membangun kerja sama, serta menyelesaikan konflik secara efektif.
5) **Kemampuan komunikasi** – Kemampuan untuk berkomunikasi secara tertulis dan lisan, termasuk keterampilan dalam presentasi dan interaksi interpersonal

4.4. Pelaksanaan *Capstone Design Project*

Proses pelaksanaan proyek *capstone* dilaksanakan sebagai berikut:

1. Mahasiswa membentuk kelompok dengan anggota minimal 1 dan maksimal 5 (Kelompok ditentukan oleh Program Studi Teknik Mesin)
2. Mahasiswa memilih satu permasalahan yang ditawarkan.
3. Masing-masing mahasiswa memiliki *role* (peran) dalam kelompok. Peran yang dipilih harus sesuai dengan standar yang umum dalam bidang industri.

4.5. Langkah-Langkah *Capstone Design/ Project*



Gambar 8. Langkah-langkah *Capstone Design*

Berikut langkah langkah dalam C*apstone Design/ Project*:

1. *Define Problem*
2. *Plan* menyelesaikan proyek

3. Demonstrasi/ presentasi
4. Pelaksanaan proyek

4.6. Luaran *Capstone Design*

Luaran Mata Kuliah *Capstone Design* Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Widya Gama, antara lain:

1. purwarupa/ *prototype* maupun produk yang merupakan hasil dari proses *engineering*, terutama perancangan dalam proses *problem solving/* memecahkan masalah. Proses perancangan harus mengikuti kaidah merancang secara sistematis
2. Buku Panduan *prototype* yang berisi tentang deskripsi, spesifikasi dari *prototype.*
3. Hak Kekayaan Intelektual (HAKI) dari Buku Panduan *prototype*

V

ANALISIS CPL DAN RPS MATA KULIAH *CAPSTONE DESIGN*

5.1. Analisa CPL Mata Kuliah *Capstone Design*

Tabel 5.1 Analisa CPL Mata Kuliah Capstone Design

Sub CPMK	Deskripsi	CPL Teknik Mesin									
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
CPL yang dibebankan pada MK Capstone Design			√		√	√	√	√	√		√
CPMK 1	Mahasiswa mampu mengidentifikasi kebutuhan dan permasalahan teknik serta merumuskan spesifikasi desain yang realistis dan terukur		√		√				√		√
Sub CPMK 1.1	Mahasiswa memahami konsep Capstone Design dan pentingnya proses identifikasi kebutuhan dalam perancangan teknik.				√				√		√
Sub CPMK 1.2	Mahasiswa mampu melakukan observasi awal dan mengumpulkan data kebutuhan pengguna atau permasalahan nyata di lapangan.		√		√				√		
Sub CPMK 1.3	Mahasiswa mampu merumuskan pernyataan masalah (problem statement) berdasarkan data dan analisis kebutuhan.				√						√
Sub CPMK 1.4	Mahasiswa mampu mengidentifikasi batasan (constraints) dan kriteria keberhasilan (objectives) dalam desain.		√		√						
Sub CPMK 1.5	Mahasiswa mampu menyusun spesifikasi desain (design requirement & objective) yang realistis dan terukur.		√		√				√		√
CPMK 2	Mahasiswa mampu merancang, menganalisis, dan mengembangkan solusi teknik yang meliputi desain detail, analisis rekayasa, serta pembuatan dan pengujian prototipe.		√		√	√		√	√		√
Sub CPMK 2.1	Mahasiswa mampu mengembangkan beberapa alternatif konsep desain berdasarkan spesifikasi		√		√				√		√

Sub CPMK	Deskripsi	CPL Teknik Mesin									
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
	kebutuhan yang telah disusun										
Sub CPMK 2.2	Mahasiswa mampu memilih konsep terbaik dan menyusun rancangan detail sistem dan komponen (dimensi, toleransi, material).		√		√	√		√	√		
Sub CPMK 2.3	Mahasiswa mampu melakukan analisis teknik terhadap desain yang dibuat (analisis gaya, tegangan, deformasi, dan keamanan).				√	√					√
Sub CPMK 2.4	Mahasiswa mampu menentukan proses manufaktur dan pemilihan material yang sesuai dengan kebutuhan desain.		√			√		√	√		
Sub CPMK 2.5	Mahasiswa mampu membuat dan menguji prototipe desain yang telah disetujui.					√		√	√		√
CPMK 3	Mahasiswa mampu menyusun laporan teknis, mempresentasikan hasil proyek secara profesional, serta menunjukkan sikap kerja sama, tanggung jawab, dan etika profesi.						√	√	√		√
Sub CPMK 3.1	Mahasiswa mampu mengevaluasi hasil desain dan melakukan penyempurnaan berdasarkan hasil uji atau masukan pembimbing/penguji.		√		√				√		√
Sub CPMK 3.2	Mahasiswa mampu menyusun laporan akhir proyek perancangan sesuai format ilmiah dan teknis yang berlaku.						√	√	√		√
Sub CPMK 3.3	Mahasiswa mampu mempersiapkan dan menyajikan presentasi hasil proyek secara profesional.						√		√		√
Sub CPMK 3.4	Mahasiswa mampu mempresentasikan hasil akhir proyek dengan sikap profesional, komunikasi efektif, dan tanggung jawab etika.						√	√	√		√

Keterangan:

Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) Teknik Mesin

a. Mampu menerapkan pengetahuan matematika, sains, dan teknologi dalam menyelesaikan persoalan rekayasa sistem mekanika.

b. Mampu merancang serta mengembangkan pemecahan masalah rekayasa mekanika dengan memperhatikan aspek lingkungan dan keberlanjutan.
c. Mampu merancang, melaksanakan eksperimen, menganalisis, serta menginterpretasikan data secara tepat.
d. Mampu mengidentifikasi, merumuskan, menganalisis, dan menyelesaikan permasalahan pada sistem rekayasa mekanika.
e. Mampu memanfaatkan teknik, keterampilan, dan peralatan teknologi modern dalam praktik rekayasa mekanika.
f. Mampu berkomunikasi secara efektif, baik lisan maupun tulisan, dalam Bahasa Indonesia maupun bahasa asing.
g. Mampu menerapkan prinsip kewirausahaan, serta mengelola proyek dan biaya dengan teliti.
h. Mampu bekerja mandiri maupun berkolaborasi secara aktif dalam tim monodisiplin maupun multidisiplin.
i. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dan mampu bertanggung jawab secara profesional dengan menjunjung tinggi etika di lingkungan profesi dan masyarakat.
j. Memiliki motivasi dan kemampuan untuk terus belajar sepanjang hayat.

5.2. **Analisis Pemetaan CPMK terhadap CPL – Mata Kuliah Capstone Design**

CPMK	Deskripsi CPMK	CPL yang Terkait	Alasan Keterkaitan
CPMK 1	Mahasiswa mampu mengidentifikasi kebutuhan dan permasalahan teknik serta merumuskan spesifikasi desain yang realistis dan terukur.	**d, b, h, j**	**d**: identifikasi & perumusan masalah. **b**: memperhatikan aspek lingkungan dan keberlanjutan. **h**: bekerja dalam tim observasi dan perumusan masalah. **j**: pembelajaran mandiri dan berkelanjutan saat studi lapangan.
CPMK 2	Mahasiswa mampu merancang, menganalisis, dan mengembangkan solusi teknik yang meliputi desain detail, analisis rekayasa, serta pembuatan dan pengujian prototipe.	**b, d, e, g, h, j**	**b**: desain berkelanjutan dan ramah lingkungan. **d**: analisis dan penyelesaian masalah. **e**: penggunaan peralatan teknologi modern (CAD/CAE). **g**: pengelolaan proyek, waktu, dan biaya desain. **h**: kolaborasi dalam desain dan manufaktur. **j**: kemampuan belajar terus menerus dari evaluasi desain.

CPMK	Deskripsi CPMK	CPL yang Terkait	Alasan Keterkaitan
CPMK 3	Mahasiswa mampu menyusun laporan teknis, mempresentasikan hasil proyek secara profesional, serta menunjukkan sikap kerja sama, tanggung jawab, dan etika profesi.	**f, g, h, j**	**f**: komunikasi teknis lisan dan tulisan. **g**: manajemen proyek dan tanggung jawab profesional. **h**: kerja tim dalam penyusunan laporan dan presentasi. **j**: refleksi diri dan pembelajaran berkelanjutan.

5.3. Rencana Kegiatan Pembelajaran Capstone Design Minggu 1-16

Minggu ke-	Sub-CPMK (Indikator Antara)	Kegiatan/Topik Utama	Bukti/Metode Penilaian
1	Mahasiswa memahami konsep Capstone Design dan pentingnya proses identifikasi kebutuhan dalam perancangan teknik.	Pengenalan Capstone Design, tujuan, tahapan, dan ekspektasi proyek.	Diskusi kelas, kuis awal, refleksi singkat.
2	Mahasiswa mampu melakukan observasi awal dan mengumpulkan data kebutuhan pengguna atau permasalahan nyata di lapangan.	Identifikasi kebutuhan pengguna, wawancara, dan survei lapangan.	Laporan hasil observasi awal / checklist kegiatan.
3	Mahasiswa mampu merumuskan pernyataan masalah (problem statement) berdasarkan data dan analisis kebutuhan.	Formulasi masalah, analisis akar penyebab (fishbone, 5 why's, dll).	Draft problem statement dan peta masalah.
4	Mahasiswa mampu mengidentifikasi batasan (constraints) dan kriteria keberhasilan (objectives) dalam desain.	Analisis batasan teknis, ekonomi, sosial, lingkungan.	Lembar identifikasi batasan & kriteria desain.
5	Mahasiswa mampu menyusun spesifikasi desain (design requirement & objective) yang realistis dan terukur.	Penyusunan dokumen spesifikasi desain (DRO).	Dokumen Design Requirement & Objective, presentasi ringkas.

Minggu ke-	Sub-CPMK (Indikator Antara)	Kegiatan/Topik Utama	Bukti/Metode Penilaian
6	Mahasiswa mampu mengembangkan beberapa alternatif konsep desain berdasarkan spesifikasi kebutuhan yang telah disusun.	*Conceptual design*: brainstorming, pengembangan konsep, evaluasi alternatif desain.	Sketsa konsep, tabel evaluasi konsep (Pugh matrix / weighted scoring).
7	Mahasiswa mampu memilih konsep terbaik dan menyusun rancangan detail sistem dan komponen (dimensi, toleransi, material).	*Detailed design*: pemilihan konsep final, penyusunan gambar teknik dan model 3D.	Draft gambar detail komponen dan assembly.
8	Mahasiswa mampu melakukan analisis teknik terhadap desain yang dibuat (analisis gaya, tegangan, deformasi, dan keamanan).	*Engineering analysis*: perhitungan manual dan/atau simulasi dengan software.	Laporan hasil analisis dan validasi desain.
9	Mahasiswa mampu menentukan proses manufaktur dan pemilihan material yang sesuai dengan kebutuhan desain.	Pemilihan bahan, proses permesinan, fabrikasi, dan estimasi biaya.	Lembar pemilihan material dan proses, analisis DFM (Design for Manufacturing).
10-11	Mahasiswa mampu membuat dan menguji prototipe desain yang telah disetujui.	*Prototype fabrication and testing*: perakitan, pengujian fungsi, dokumentasi hasil.	Prototipe awal, laporan uji coba, dokumentasi foto/video.
12	Mahasiswa mampu mengevaluasi hasil desain dan melakukan penyempurnaan berdasarkan hasil uji atau masukan pembimbing/penguji.	Review hasil uji prototipe, diskusi feedback, optimalisasi desain.	Laporan revisi desain, logbook bimbingan, dokumentasi perbaikan.
13	Mahasiswa mampu menyusun laporan akhir proyek perancangan sesuai format ilmiah dan teknis yang berlaku.	Penyusunan laporan akhir (struktur, data, hasil, kesimpulan, lampiran teknis).	Draft laporan akhir, review oleh dosen pembimbing.
14	Mahasiswa mampu mempersiapkan dan menyajikan presentasi hasil proyek secara profesional.	Pelatihan presentasi, penyusunan slide, latihan komunikasi teknis.	File presentasi, simulasi presentasi, umpan balik dari pembimbing.
15-16	Mahasiswa mampu mempresentasikan hasil akhir proyek dengan sikap profesional, komunikasi efektif, dan tanggung jawab etika.	Presentasi akhir (seminar proyek/ujian sidang), Pameran Inovasi Teknologi	Penilaian presentasi akhir (rubrik: isi, komunikasi, sikap, kerjasama tim).

VI
FORMAT PROPOSAL, LAPORAN, DAN LUARAN *CAPSTONE DESIGN*

6.1. Format Proposal *Capstone Design*

1. **HALAMAN JUDUL (Lihat Lampiran)**
2. **LEMBAR PENGESAHAN (Lihat Lampiran)**
3. **DAFTAR ISI**
4. **DAFTAR GAMBAR**
5. **DAFTAR TABEL**
6. **BAB I - PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang

Menjelaskan:

a. Permasalahan nyata yang melatarbelakangi proyek
b. Urgensi dan relevansi proyek terhadap bidang teknik
c. Keterkaitan dengan kebutuhan industri atau masyarakat
d. Landasan teori singkat (bisa dikembangkan lebih lanjut di laporan akhir)

1.2. Rumusan Masalah

Tuliskan perumusan masalah secara jelas dan terukur, misalnya dalam bentuk pertanyaan atau pernyataan masalah yang akan diselesaikan melalui proyek ini.

1.3. Tujuan Proyek

Menjelaskan sasaran yang ingin dicapai melalui pelaksanaan Capstone Design, baik tujuan umum maupun khusus.

1.4. Batasan Masalah

Menyebutkan ruang lingkup proyek agar tetap fokus dan realistis, mencakup batasan teknis, waktu, sumber daya, serta aspek non-teknis.

7. **BAB II - TINJAUAN PUSTAKA**

   Berisi teori, standar, dan referensi yang relevan dengan proyek (misalnya teori desain, standar teknik, penelitian terdahulu, atau studi kasus industri).

8. **BAB III - METODOLOGI PELAKSANAAN**

   Menjelaskan tahapan dan metode pelaksanaan proyek, meliputi:

3.1. Identifikasi dan analisis masalah

3.2. Konsep dan alternatif desain Gambar desain awal atau sketsa

3.3. Pemilihan desain optimal

3.4. Perancangan detail / simulasi / fabrikasi

3.5. Alat dan Bahan

3.6. Uji coba dan evaluasi hasil

3.7. Diagram alir (flowchart) untuk memperjelas alur kegiatan

3.8. Jadwal Kegiatan

Disajikan dalam bentuk tabel Gantt Chart yang memuat rencana waktu pelaksanaan tiap tahapan (mingguan atau bulanan).

3.9. Pembagian Tugas Anggota Tim

Menjelaskan peran dan tanggung jawab masing-masing anggota kelompok dalam pelaksanaan proyek.

3.10. Estimasi Biaya

Rincian kebutuhan biaya (Maksimum Rp. 1.000.000,-, meliputi:

a. Bahan/material
b. Alat dan peralatan
c. Pengujian/laboratorium
d. Transportasi dan dokumentasi
e. Lain-lain (jika ada)

3.11. **Hasil/Luaran yang Diharapkan**

Menjelaskan bentuk keluaran proyek, misalnya:

a. *Prototype*, sistem, atau perangkat lunak
b. Laporan Akhir
c. Buku Panduan TTG/Prototype
d. Hak Kekayaan Intelektual (HAKI)

9. DAFTAR PUSTAKA

Daftar referensi yang digunakan dalam penyusunan proposal, ditulis sesuai format Harvard Style.

6.2. Format Laporan Akhir *Capstone Design*

Laporan Akhir disusun dengan layout kertas A4, Huruf menggunakan Times New Roman,

1. **HALAMAN JUDUL (Lihat Lampiran)**
2. **LEMBAR PENGESAHAN (Lihat Lampiran)**
3. **KATA PENGANTAR**
4. **IDENTITAS TIM PENYUSUN TEKNOLOGI**
5. **DAFTAR ISI**
6. **DAFTAR GAMBAR**
7. **DAFTAR TABEL**
8. **ABSTRAK**

   Ringkasan singkat mengenai:

   a. Latar belakang
   b. Tujuan proyek
   c. Metode pelaksanaan
   d. Hasil (± 200–300 kata)

9. **BAB I - PENDAHULUAN**

   1.1. Latar Belakang

   Menjelaskan:

   e. Permasalahan nyata yang melatarbelakangi proyek
   f. Urgensi dan relevansi proyek terhadap bidang teknik
   g. Keterkaitan dengan kebutuhan industri atau masyarakat
   h. Landasan teori singkat (bisa dikembangkan lebih lanjut di laporan akhir)

   1.2. Rumusan Masalah

   Tuliskan perumusan masalah secara jelas dan terukur, misalnya dalam bentuk pertanyaan atau pernyataan masalah yang akan diselesaikan melalui proyek ini.

   1.3. Tujuan Proyek

   Menjelaskan sasaran yang ingin dicapai melalui pelaksanaan Capstone Design, baik tujuan umum maupun khusus.

   1.4. Batasan Masalah

   Menyebutkan ruang lingkup proyek agar tetap fokus dan realistis, mencakup batasan

teknis, waktu, sumber daya, serta aspek non-teknis.

1.5. Manfaat Proyek

Menjelaskan manfaat atau nilai tambah proyek bagi mahasiswa, industri, atau masyarakat

10. BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori, standar, dan referensi yang relevan dengan proyek (misalnya teori desain, standar teknik, penelitian terdahulu, atau studi kasus industri).

11. BAB III - METODOLOGI PELAKSANAAN

Menjelaskan tahapan dan metode pelaksanaan proyek, meliputi:

3.1. Identifikasi dan analisis masalah

3.2. Konsep dan alternatif desain Gambar desain awal atau sketsa

3.3. Pemilihan desain optimal

3.4. Perancangan detail / simulasi / fabrikasi

3.5. Alat dan Bahan

3.6. Uji coba dan evaluasi hasil

3.7. Diagram alir (flowchart) untuk memperjelas alur kegiatan

3.8. Jadwal Kegiatan

Disajikan dalam bentuk tabel Gantt Chart yang memuat rencana waktu pelaksanaan tiap tahapan (mingguan atau bulanan).

3.9. Pembagian Tugas Anggota Tim

Menjelaskan peran dan tanggung jawab masing-masing anggota kelompok dalam pelaksanaan proyek.

3.10. Estimasi Biaya

Rincian kebutuhan biaya (Maksimum Rp. 1.000.000,-, meliputi:

f. Bahan/material
g. Alat dan peralatan
h. Pengujian/laboratorium
i. Transportasi dan dokumentasi
j. Lain-lain (jika ada)

3.11. **Hasil/Luaran yang Diharapkan**

Menjelaskan bentuk keluaran proyek, misalnya:

a. *Prototype*
b. Laporan Akhir
c. Buku Panduan TTG/Prototype
d. Hak Kekayaan Intelektual (HAKI)

12. BAB IV – PERANCANGAN DAN ANALISIS

Berisi hasil utama proyek, seperti:

4.1. **Konsep Desain dan Alternatif Solusi**

4.2. **Pemilihan Desain Terbaik** (menggunakan metode evaluasi atau perbandingan)

4.3. **Detail Desain dan Perhitungan Teknis**

Gambar teknik, dimensi, simulasi, perhitungan beban, efisiensi, dsb.

4.4. **Analisis Hasil / Simulasi / Eksperimen**

a. Data hasil uji atau hasil pemodelan
b. Interpretasi dan pembahasan hasil

13. BAB V – IMPLEMENTASI DAN UJI COBA

1. **Proses Pembuatan / Fabrikasi / Implementasi Sistem**
2. **Uji Coba atau Pengujian Prototipe**
3. **Analisis Hasil Uji**
4. **Evaluasi terhadap Tujuan dan Kriteria Desain**

14. BAB VI – KESIMPULAN DAN SARAN

1. **Kesimpulan**

Merangkum hasil utama proyek dan ketercapaian tujuan.

2. **Saran**

Rekomendasi pengembangan proyek di masa depan atau penerapan di industri.

15. Daftar Pustaka

Daftar referensi yang digunakan dalam penyusunan proposal, ditulis sesuai format Harvard Style.

6.3. Format Buku Panduan Prototype/ TTG

1. **HALAMAN SAMPUL (cover silahkan di desain)**

   Berisi: judul Prototype, Logo Universitas, Nama Tim / Anggota dan NIM, Nama Dosen Pembimbing, Program Studi dan Fakultas, Universitas, dan Tahun Akademik

2. **KATA PENGANTAR**

   Menjelaskan latar belakang pembuatan buku panduan prototype serta ucapan terima kasih kepada pihak yang membantu dalam pengembangan produk.

3. **DAFTAR ISI**
4. **DAFTAR GAMBAR**
5. **DAFTAR TABEL**

Termasuk daftar gambar, tabel, dan lampiran.

---

5. RINGKASAN / ABSTRAK

Menjelaskan secara singkat:

- Latar belakang pembuatan prototype
- Tujuan pengembangan
- Fitur utama produk
- Hasil uji coba singkat
- (± 200–250 kata)

BAB I – PENDAHULUAN

Berisi:

1. **Latar Belakang Pengembangan Prototype**
   - Permasalahan atau kebutuhan yang mendasari pembuatan produk.
2. **Tujuan Pembuatan Prototype**
   - Sasaran atau manfaat yang ingin dicapai.
3. **Ruang Lingkup dan Batasan Prototype**
   - Fitur yang dikembangkan dan batasan fungsi produk.
4. **Manfaat Prototype**
   - Manfaat bagi pengguna, industri, atau bidang keilmuan terkait.

BAB II – DESKRIPSI PRODUK / PROTOTYPE

Menjelaskan secara detail tentang produk, meliputi:

1. **Deskripsi Umum**
    - Fungsi utama dan konsep kerja prototype.
2. **Spesifikasi Teknis**
    - Komponen utama, bahan, dimensi, kapasitas, daya, dan parameter kinerja.
3. **Diagram Blok / Diagram Sistem**
    - Gambaran alur kerja sistem atau hubungan antar komponen.
4. **Gambar Desain / Skematik / CAD Drawing**
    - Tampilan visual prototype, baik rancangan awal maupun hasil akhir.
5. **Komponen dan Material**
    - Daftar komponen (Bill of Materials / BOM) lengkap dengan spesifikasi dan jumlah.

BAB III – PROSEDUR PEMBUATAN / PERAKITAN

Menjelaskan langkah-langkah pembuatan produk, antara lain:

1. **Langkah Perakitan / Pembuatan**
    - Urutan proses dari awal hingga prototype selesai.
2. **Alat dan Bahan yang Digunakan**
3. **Proses Fabrikasi / Pengolahan**
    - Misalnya: pemotongan, pengelasan, perakitan elektronik, pemrograman, dll.
4. **Kendala Teknis dan Solusinya**

Disarankan untuk menyertakan **foto dokumentasi setiap tahap pembuatan.**

BAB IV – PENGUJIAN DAN ANALISIS KINERJA

Menjelaskan hasil uji coba dan performa prototype:

1. **Metode Pengujian**
    - Jenis pengujian yang dilakukan dan alat ukur yang digunakan.
2. **Data dan Hasil Uji**
    - Tabel hasil pengukuran, efisiensi, kecepatan, kekuatan, akurasi, dsb.

3. **Analisis Hasil**
    - Perbandingan hasil dengan target desain atau referensi standar.
4. **Evaluasi dan Perbaikan Prototype**

BAB V – PETUNJUK PENGOPERASIAN

Berisi panduan penggunaan produk:

1. **Persiapan Sebelum Digunakan**
2. **Langkah-langkah Pengoperasian**
3. **Keselamatan dan Pencegahan Risiko**
4. **Cara Pemeliharaan / Perawatan**

Tambahkan **gambar atau diagram alur operasi** agar mudah dipahami pengguna.

BAB VI – KESIMPULAN DAN SARAN

1. **Kesimpulan**
    - Capaian utama dari pengembangan dan uji prototype.
2. **Saran Pengembangan**
    - Potensi perbaikan atau pengembangan lebih lanjut agar produk siap diimplementasikan di dunia nyata atau industri.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi referensi teori, standar, atau penelitian yang dijadikan acuan selama pembuatan prototype.

Gunakan format sesuai panduan (APA / IEEE / Vancouver Style).

LAMPIRAN

Dapat memuat:

- Gambar teknik lengkap (*engineering drawing*)
- Rangkaian listrik / elektronik
- Kode program (jika ada sistem kontrol berbasis mikrokontroler)
- Data hasil pengujian lengkap
- Dokumentasi foto tahap pembuatan

- Surat dukungan mitra / sponsor (jika ada)