PANDUAN PELAKSANAAN
PERANCANGAN SISTEM TEKNIK FISIKA
Program Sarjana
Program Studi Teknik Fisika



Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika
Fakultas Teknik, Universitas
Gadjah Mada Yogyakarta
2026

Kata Pengantar

Puji syukur senantiasa kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga Buku Panduan Pelaksanaan Perancangan Sistem Teknik Fisika ini dapat diselesaikan. Buku panduan ini disusun sebagai pedoman baku dan komprehensif bagi seluruh ekosistem akademik—mulai dari Mahasiswa, Dosen Koordinator, Dosen Pembimbing hingga Tim Praktisi Industri—dalam menjalankan mata kuliah puncak (*culminating experience*) di Program Studi Teknik Fisika.

Edisi panduan kali ini membawa lompatan paradigma yang sangat fundamental. Kami menyadari bahwa tantangan di era Industri 4.0 dan transisi energi global menuntut lebih dari sekadar kemampuan teoritis. Oleh karena itu, pelaksanaan *Capstone Design* kini direkayasa ulang menjadi sebuah simulasi proyek *Engineering, Procurement, and Construction* (EPC) berskala penuh. Mahasiswa tidak lagi bertindak sekadar sebagai pelajar yang menyelesaikan tugas, melainkan ditempa untuk beroperasi layaknya sebuah Firma Rekayasa profesional yang tengah memperebutkan tender proyek desain.

Melalui integrasi kerangka kerja manajemen proyek**,** kepatuhan mutlak pada standar internasional, serta kewajiban menyusun Kajian Tekno-Ekonomi, program ini didesain untuk menekan kesenjangan antara dunia kampus dan realitas industri. Kami ingin memastikan bahwa setiap garis pada gambar teknik yang ditarik, dan setiap dimensi instrumen yang dihitung oleh mahasiswa, memiliki landasan sains yang kokoh, layak secara finansial dan menjunjung tinggi keselamatan nyawa manusia serta etika lingkungan.

Kami menyampaikan apresiasi dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada tim penyusun, jajaran Tim Kurikulum serta rekan-rekan Praktisi Industri yang telah menyumbangkan wawasan praktisnya demi menyempurnakan kurikulum mata kuliah ini.

Semoga buku panduan ini dapat menjadi kompas yang memandu mahasiswa Teknik Fisika melewati ketatnya tenggat waktu dan tingginya standar rekayasa. Kami menaruh harapan besar agar pengalaman berharga selama dua semester ini mampu menempa Saudara/i menjadi lulusan unggul yang berintegritas, tangguh, dan siap memberikan solusi teknis berkelas dunia bagi kemajuan bangsa.

Yogyakarta, Juli 2026

Ketua Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika



Prof. Dr. Ir. Faridah, S.T., M.Sc., IPU., ASEAN Eng.
NIP: 197602142002122001

Daftar ISI

Kata Pengantar ..... *ii*

BAB I: PENDAHULUAN ..... **- 5 -**

1.1 Definisi dan Filosofi Perancangan Sistem Teknik Fisika ..... - 5 -

1.2 Kaitan Mata Kuliah Perancangan Sistem Teknik Fisika 1 (PSTF 1) dan Perancangan Sistem Teknik Fisika 1 (PSTF 2) ..... - 5 -

1.3 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) PSTF 1 & 2 ..... - 6 -

BAB II: TATA KELOLA KULIAH, TEMA, DAN AKTOR ..... **- 8 -**

2.1 Manajemen Terpusat oleh Kelompok Dosen Koordinator Capstone ..... - 8 -

2.2 Peran Dosen Koordinator, Tim Praktisi, Pembimbing, dan Firma Mahasiswa ..... - 8 -

2.3 Mekanisme "Tender Proyek" (Rilis Dokumen Term of Reference) ..... - 9 -

BAB III: PELAKSANAAN PSTF 1 ..... **- 10 -**

3.1 Tahap 1: *Conceptual Phase* ..... - 10 -

3.2 Tahap 2: *Basic Engineering / FEED Phase (PFD & Draf P&ID)* ..... - 10 -

3.3 Tahap 3: Kajian Tekno-Ekonomi (*Capital & Operational Expenditure*) ..... - 11 -

3.3 Tahap 4: Stage-Gate Evaluation ..... - 11 -

BAB IV: PELAKSANAAN PSTF 2 ..... **- 12 -**

4.1 Tahap 1: Detail Engineering Design & Kalkulasi Sizing ..... - 12 -

4.2 Tahap 2: Validasi ..... - 12 -

4.3 Tahap 3: Kajian Keselamatan (SIS/SIL), Siber, dan Serah Terima ..... - 13 -

BAB V: MATRIKS STANDAR INDUSTRI & EKONOMI PADA DOKUMEN LUARAN ..... **- 14 -**

BAB VI: EVALUASI PER KELOMPOK ..... **- 15 -**

6.1 Filosofi Evaluasi Kelompok (*Corporate Appraisal*) ..... - 15 -

6.2 Mekanisme Evaluasi Industri (Panel Direksi) ..... - 15 -

6.3 Panduan Penggunaan Tabel Rubrik Penilaian Keluaran Semua Fase ..... - 15 -

BAB VII: DAFTAR REFERENSI STANDAR INDUSTRI (*CODES & STANDARDS*) ..... **- 17 -**

7.1 Panduan Literasi Referensi Standar Mutlak ..... - 17 -

LAMPIRAN 1:PROSEDUR OPERASIONAL STANDAR ..... **- 19 -**

LAMPIRAN 2: ATURAN PENGISIAN *LOGBOOK* ..... **- 21 -**

LAMPIRAN 3A: STRUKTUR BUKU LAPORAN PSTF 1 ..... **- 22 -**

LAMPIRAN 3B: STRUKTUR BUKU LAPORAN PSTF 2 ..... **- 23 -**

LAMPIRAN 4: FORMULIR PENILAIAN PSTF 1 ..... - 25 -
4A. Penilaian oleh DOSEN KOORDINATOR..... - 25 -
4B. Penilaian oleh DOSEN PEMBIMBING/PRAKTISI INDUSTRI ..... - 26 -
LAMPIRAN 5: FORMULIR PENILAIAN SIDANG PSTF 2..... - 27 -
5A. Penilaian oleh DOSEN KOORDINATOR..... - 27 -
5B. Penilaian oleh DOSEN PEMBIMBING/PRAKTISI INDUSTRI ..... - 28 -

BAB I: PENDAHULUAN

1.1 Definisi dan Filosofi Perancangan Sistem Teknik Fisika

Mata kuliah Perancangan Sistem Teknik Fisika tidak lagi dipandang sebagai sekadar mata kuliah tugas akhir biasa, melainkan dikonstruksikan sebagai sebuah ekosistem simulasi firma rekayasa kelas dunia (*Engineering, Procurement, and Construction* / EPC). Melalui simulasi ini, mahasiswa dipaksa untuk keluar dari zona nyaman akademis murni dan masuk ke dalam realitas industri yang sarat dengan tekanan, standar kualitas yang kaku, serta tenggat waktu yang mengikat. Ruang lingkup proyek secara sengaja dibatasi khusus pada ranah perancangan (*engineering*) murni tanpa mewajibkan konstruksi fisik, sehingga dana dan energi mahasiswa dapat sepenuhnya difokuskan pada kedalaman analisis dan detail cetak biru (*blueprint*).

Untuk memastikan alur kerja sejalan dengan praktik global, seluruh kerangka proyek diorkestrasi menggunakan tata kelola standar NAMUR NA 35 (*Implementation of Process Control Engineering in Engineering Projects*). Protokol ini memecah siklus hidup proyek rekayasa menjadi fase-fase yang sangat terstruktur. Dalam koridor akademik ini, fokus diarahkan pada tiga fase krusial: Fase 1 (*Conceptual Phase*) untuk perumusan kebutuhan sistem, Fase 2 (*Basic Engineering Phase*) untuk desain makro dan keekonomian, serta Fase 3 (*Detail Engineering Phase*) untuk menghasilkan paket dokumen siap bangun (*ready-to-build*).

Dengan filosofi ini, target utama adalah mencetak insinyur perancang (*design engineer*) yang sangat andal. Dokumen rekayasa yang dihasilkan oleh mahasiswa tidak boleh sekadar narasi konseptual, melainkan mutlak mematuhi standar global (ISA, IEC, ISO, API). Parameter kewajaran finansial komersial juga ditetapkan sebagai pilar penentu kelayakan desain, menegaskan bahwa sebaik apa pun karya perancangan di atas kertas, ia tidak ada nilainya jika secara finansial merugikan pihak investor atau pabrik penggunanya.

1.2 Kaitan Mata Kuliah Perancangan Sistem Teknik Fisika 1 (PSTF 1) dan Perancangan Sistem Teknik Fisika 1 (PSTF 2)

Pendistribusian fase-fase proyek ke dalam dua semester dirancang agar beban kerja mahasiswa terdistribusi secara logis, mengikuti tahap kematangan sebuah desain di dunia nyata. Pada PSTF 1 (Semester 7), mahasiswa ditugaskan untuk mengeksekusi Fase 1 dan Fase 2 dari NAMUR NA 35. Mahasiswa mengawali pekerjaan dengan merespons dokumen lelang (*Term of Reference*), membangun landasan pemodelan fisika-matematika yang kokoh, dan merumuskan spesifikasi target di dokumen URS (*User Requirement Specification*). Fokus luaran di semester ini bertumpu pada dokumen kelayakan makro, termasuk *Process Flow Diagram* (PFD), perancangan Draf P&ID awal, serta perumusan Kajian Tekno-Ekonomi (CAPEX/OPEX/NPV).

Memasuki PSTF 2 (Semester 8), beban beralih sepenuhnya pada eksekusi pendetailan tingkat tinggi atau Fase 3 NAMUR. Semua asumsi dan draf yang telah disetujui pada PSTF 1 tidak boleh diubah konsep dasarnya, melainkan harus di-*breakdown* secara presisi. Arsitektur Draf P&ID difinalisasi menjadi P&ID Final yang dilengkapi dengan kelas

material pipa (*spec break*), spesifikasi instrumen teknis (Form ISA-20), kalkulasi dimensi instrumen (*Sizing*), dan diagram *Loop* instalasi kabel (ISA-5.4). Tahap ini menuntut tingkat ketelitian yang luar biasa karena akan menghasilkan *Bill of Materials* (BoM) final.

Karena ketiadaan perakitan fisik, validasi desain di PSTF 2 digantikan oleh metode Simulasi Virtual Tingkat Lanjut. Mahasiswa menggunakan *software* industri komersial untuk menciptakan prototipe digital dari *Detail Engineering Design* (DED) mereka. Melalui pemberian skenario *stress-test* yang meniru metodologi *Factory Acceptance Test* (FAT), mahasiswa harus membuktikan bahwa desain kendali dan sistem perlindungan instrumen mereka mampu menahan anomali tanpa menyebabkan kegagalan sistem.

Sistem prasyarat (*prerequisite*) diberlakukan secara ketat antara kedua mata kuliah ini. Mahasiswa tidak diizinkan untuk mengambil atau melanjutkan ke PSTF 2 apabila luaran di PSTF 1 dinilai gagal, tidak layak, atau menyalahi hukum-hukum dasar fisika oleh dosen pembimbing. Hal ini dilakukan untuk mencegah pemborosan sumber daya dan waktu pada tahap eksekusi akibat kesalahan fatal di tahap desain konseptual. Kesinambungan yang solid antara kedua semester ini adalah kunci utama lahirnya purwarupa inovatif yang berkualitas tinggi.

1.3 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) PSTF 1 & 2

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) merupakan jantung dari seluruh kegiatan evaluasi dan penentuan kurikulum dalam *Capstone Design*. CPMK adalah kompas yang mendefinisikan standar kompetensi mutlak yang harus dikuasai oleh mahasiswa sebelum mereka berhak lulus. Seluruh tahapan pengerjaan proyek, mulai dari observasi hingga penyusunan laporan, disusun semata-mata untuk membuktikan bahwa mahasiswa telah mencapai target keterampilan saintifik dan manajerial yang tertuang dalam enam (6) poin CPMK gabungan ini.

Pada mata kuliah Perancangan Sistem Teknik Fisika 1 (PSTF 1)**,** fokus capaian berada pada tahap perumusan abstrak dan konseptual rekayasa. Ketiga CPMK tersebut adalah:

- **PSTF1-CPMK1:** Mahasiswa mampu menerapkan prinsip matematika dan sains teknik untuk memodelkan solusi awal pada sistem instrumentasi, energi, atau fisika bangunan.
- **PSTF1-CPMK2:** Mahasiswa mampu merumuskan spesifikasi kebutuhan (URS) dan batasan desain yang realistis.
- **PSTF1-CPMK3:** Mahasiswa mampu menyusun dokumen Front-end Engineering Design (FEED) yang mencakup analisis kelayakan teknis-ekonomis dan skema desain konseptual.

Sementara pada Perancangan Sistem Teknik Fisika 2 (PSTF 2)**,** fokus capaian bergeser pada eksekusi teknis, pembangunan fisik/simulasi, serta pembuktian lapangan. Ketiga CPMK tersebut adalah:

- **PSTF2-CPMK1:** Mahasiswa mampu menerjemahkan FEED menjadi Detailed Engineering Design (DED) yang komprehensif.

- **PSTF2-CPMK2:** Mahasiswa mampu memvalidasi hasil desain melalui simulasi tingkat lanjut atau pengujian prototipe menggunakan peranti modern.
- **PSTF2-CPMK3:** Mahasiswa mampu menghasilkan dokumen teknis akhir dan mempresentasikan hasil rancangan secara profesional dengan menjunjung etika profesi.

BAB II: TATA KELOLA KULIAH, TEMA, DAN AKTOR

2.1 Manajemen Terpusat oleh Kelompok Dosen Koordinator Capstone

Untuk mereplikasi kondisi struktur organisasi perusahaan multinasional secara riil, mata kuliah ini diorkestrasi secara terpusat oleh satu entitas yang disebut Dosen Koordinator. Berbeda dengan pendekatan kelas reguler di mana dosen bertindak otonom, Kelompok Koordinator di sini mengambil peran mutlak sebagai "Dewan Direksi" atau "Perwakilan Pemilik Proyek (*Project Owner*)". Seluruh kendali mutu, keseragaman tata aturan, dan kalibrasi standar evaluasi diputuskan dari satu pintu ini.

Sentralisasi ini bermakna bahwa pengajuan ide kreatif yang bersifat bebas dan serabutan dari mahasiswa tidak lagi diperkenankan. Koordinator menyusun tema masalah industri secara *Top-Down* yang diambil dari masalah nyata industri atau tren keinsinyuran global terkini. Keputusan ini diambil agar kerumitan masalah yang dikerjakan setara antar-kelompok dan memiliki standar kualitas level sarjana teknik yang tidak bisa ditawar.

Sebagai pengelola tertinggi, Dosen Koordinator juga mengatur ritme penjadwalan (*timeline*) yang sangat ketat layaknya kontrak proyek. Mereka menentukan titik-titik gerbang persetujuan (*Stage-Gate*) dan bertindak sebagai penentu kelulusan utama. Keterlambatan penyerahan dokumen dari tenggat yang ditetapkan Koordinator akan disikapi layaknya penalti denda keterlambatan proyek (*Liquidated Damages*) di dunia nyata.

2.2 Peran Dosen Koordinator, Tim Praktisi, Pembimbing, dan Firma Mahasiswa

Dalam ekosistem proyek rekayasa ini, interaksi antaraktor diatur secara hierarkis dan profesional. Dosen Koordinator, selaku perwakilan Klien (*Issuer* RFP), memiliki wewenang penuh mengevaluasi kepatuhan pada standar keteknikan dan kelogisan validitas komputasi dasar di setiap tahap evaluasi. Mereka adalah otoritas akademik yang menjaga garis batas antara desain yang sekadar lulus dengan desain yang brilian.

Untuk menyeimbangkan idealisme akademik dengan realitas komersial, dilibatkanlah Praktisi Industri (*Expert Reviewers*). Para profesional lapangan atau konsultan EPC ini diundang khusus untuk "menghajar" kelayakan desain mahasiswa dari sudut pandang yang sering luput di kampus: kelayakan finansial (NPV), ketersediaan rantai pasok material (*Supply Chain* BoM), konstruktabilitas (kemudahan dirakit oleh tukang), dan audit K3 (*Safety* HAZOP/SIL). Di sisi pendamping, terdapat Dosen Pembimbing (*Lead Consultant*) yang secara intensif mendampingi mahasiswa, membedah kerumitan buku standar kode (*Codes*), membimbing teknik kalkulasi *Sizing*, serta memberikan ACC otorisasi pada setiap lembar draf sebelum disodorkan untuk dinilai.

Ujung tombak dari seluruh aktivitas ini adalah Kelompok Mahasiswa, yang beroperasi sebagai sebuah entitas Firma Rekayasa (*Engineering Firm*) beranggotakan 3-4 orang. Mereka dituntut memiliki manajemen internal sendiri (seperti menunjuk *Project Manager*, *Lead Process Engineer*, *Lead Instrument Engineer*). Tugas utama mereka adalah

bersinergi secara interdisiplin memproduksi dokumen cetak biru yang siap ditenderkan ulang (*Ready-for-Tender*) tanpa adanya cacat logika keteknikan.

2.3 Mekanisme "Tender Proyek" (Rilis Dokumen Term of Reference)

Mekanisme penugasan proyek dilakukan secara kompetitif melalui proses "Tender Proyek". Pada minggu-minggu pertama semester ganjil, Dosen Koordinator secara resmi merilis sekumpulan dokumen *Request for Proposal* (RFP) atau *Term of Reference* (TOR).

Setelah TOR dirilis, dinamika kelas berubah menjadi persaingan tender. Kelompok mahasiswa diwajibkan untuk memilih satu TOR yang dirasa sesuai dengan keahlian tim mereka. Mereka kini memposisikan diri sebagai perusahaan konsultan rekayasa swasta yang sedang menyusun proposal untuk memenangkan kontrak desain dari "Klien" (Dosen Koordinator).

Tahapan ini memaksa mahasiswa untuk segera melakukan riset kilat, melakukan penelusuran standar internasional (seperti API, ISA, ASME) yang mengikat pada jenis industri di dalam TOR tersebut, serta melakukan survei pasar terhadap harga material kasar. Keberhasilan kelompok sangat ditentukan oleh seberapa tajam mereka memahami keinginan tersirat dari TOR tersebut dan meramunya ke dalam dokumen penawaran awal yang meyakinkan.

BAB III: PELAKSANAAN PSTF 1

3.1 Tahap 1: *Conceptual Phase*

Fase paling awal dalam metodologi NAMUR ini mewajibkan mahasiswa meletakkan batu fondasi berupa sains yang solid sebelum melangkah pada urusan penggambaran skematik. Pada tahap Pemodelan Sains, mahasiswa harus membuktikan bahwa ide solusi mereka bisa berjalan di atas kertas dan patuh pada hukum fisika. Mereka merumuskan persamaan diferensial mekanika/termodinamika/fluida dasar dan melakukan komputasi numerik (*First-Principle Modeling*) menggunakan perangkat lunak analitis guna memastikan bahwa konsep desain mereka stabil dan konvergen secara teoretis.

Berbekal hasil komputasi dasar tersebut, firma mahasiswa merumuskan *User Requirement Specifications* (URS). Dokumen ini adalah turunan detail dari TOR milik Koordinator, di mana batasan operasional abstrak dikonversi menjadi angka-angka kuantitas. URS ini mengikat janji performa yang harus dipenuhi alat di akhir PSTF 2 kelak.

Pilar ketiga dalam fase ini adalah penyusunan *Functional Design Specification* (FDS) / *Control Narrative*. Menggunakan rekomendasi standar ISA 5.06.01, mahasiswa menceritakan secara tekstual bagaimana instrumen dan sistem logika kontrol mereka akan beroperasi dalam menangani siklus sekuensial (mulai dari alat dihidupkan, operasi normal, hingga prosedur matikan otomatis saat bahaya). FDS ini kelak akan menjadi pedoman mutlak bagi *programmer* PLC/SCADA dalam menulis baris kode mereka di fase detail.

3.2 Tahap 2: *Basic Engineering / FEED Phase (PFD & Draf P&ID)*

Memasuki tahap Rekayasa Dasar (*Basic Engineering*), mahasiswa mulai memberikan wujud visual makro terhadap konsep mereka. Mereka mewujudkan *Process Flow Diagram* (PFD) yang sepenuhnya berbasis pada standar ISO 10628. PFD ini tidak boleh sekadar sketsa garis, melainkan harus terintegrasi dengan tabel neraca massa dan panas (*Heat & Material Balance*) pada setiap aliran pipa, membuktikan bahwa hukum kekekalan energi dan massa telah diperhitungkan dari hulu ke hilir.

Puncak dari beban kerja teknis di fase FEED ini adalah peletakan rancangan arsitektur awal melalui pembuatan Draf P&ID (*Preliminary Piping & Instrumentation Diagram*). Draf ini wajib menggunakan tata bahasa simbol ISA-5.1, memberikan gambaran awal letak jalur pipa primer, arah aliran, posisi pompa/kompresor, *control valve* utama, batas-batas keselamatan sistem (*safety boundaries*), dan titik-titik pemasangan sensor primer.

Keberadaan Draf P&ID di PSTF 1 ini sangat vital karena ia menjadi pijakan awal (*baseline*) bagi kelompok untuk menghitung jumlah instrumen dasar yang diperlukan. Tanpa adanya Draf P&ID yang disetujui, perhitungan estimasi biaya proyek akan sangat meleset, dan transisi pengerjaan menuju Fase *Detail Engineering* di semester genap akan menjadi kacau dan tanpa arah yang jelas.

3.3 Tahap 3: Kajian Tekno-Ekonomi (*Capital & Operational Expenditure*)

Meskipun mahasiswa Teknik Fisika sangat dominan pada analisis eksakta, simulasi EPC ini memaksa mereka masuk ke ranah ekonomi komersial. Berbasis pada Draf P&ID yang telah mereka gambar, firma mahasiswa diwajibkan menyusun Kajian Tekno-Ekonomi yang menjadi roh pertanggungjawaban investasi. Tahap awal adalah menyusun estimasi kasar CAPEX (*Capital Expenditure*) untuk pembelian perangkat keras dasar, *software*, pipa, dan biaya jasa *engineering*, serta OPEX (*Operational Expenditure*) yang menghitung proyeksi biaya konsumsi listrik, kalibrasi tahunan, dan *maintenance*.

Setelah mengumpulkan struktur biaya, mahasiswa melakukan uji kelayakan finansial menggunakan indikator investasi proyek makro. Mereka harus merumuskan *Net Present Value* (NPV) untuk membuktikan bahwa akumulasi nilai uang di masa depan lebih besar dari investasi saat ini. Mereka juga mengukur *Internal Rate of Return* (IRR) terhadap suku bunga acuan pasar, serta menghitung target pengembalian investasi atau *Payback Period*.

Dokumen ini menjadi alat paling krusial bagi firma mahasiswa untuk meyakinkan Panel Praktisi bahwa proyek perancangan otomasi ini bukan sekadar pemborosan uang demi "kecanggihan teknologi semata". Desain teknik mereka harus terbukti secara matematis mampu memangkas kerugian produksi energi pabrik, meningkatkan yield kualitas, hingga akhirnya bermuara pada kesimpulan bahwa desain mereka sangat menguntungkan.

3.3 Tahap 4: Stage-Gate Evaluation

Titik kulminasi dari PSTF 1 adalah pelaksanaan evaluasi hasil kinerja Firma mahasiswa. Firma mahasiswa mempresentasikan paket dokumen PFD, Draf P&ID, dan kesimpulan Kajian Tekno-Ekonomi dalam bentuk Laporan PSTF 1 untuk dapat dievaluasi oleh Dosen Koordinator, Dosen Pembimbing dan Praktisi Industri.

BAB IV: PELAKSANAAN PSTF 2

4.1 Tahap 1: *Detail Engineering Design* & Kalkulasi Sizing

Memasuki semester genap (PSTF 2), status mahasiswa naik menjadi tim *Detail Engineer*. Misi utamanya adalah mengubah draf makro menjadi paket spesifikasi mikro yang siap dilelang kepada manufaktur pabrik. Langkah pertama adalah memfinalisasi Draf P&ID menjadi P&ID Final. Di sini, tidak ada lagi ruang untuk ketidakjelasan; setiap garis pipa harus diberi ukuran inci (*line sizing*), kelas pemipaan (*spec break*), dan dilengkapi dengan logika interlock perlindungan menggunakan simbol yang mutlak mematuhi standar ISA 5.1 dan ISA 5.2.

Jantung dari *Detail Engineering* adalah akurasi penentuan dimensi melalui Kalkulasi Sizing Mutlak. Mahasiswa diharamkan menebak spesifikasi komponen. Kapasitas dan diameter sensor aliran (Orifice) wajib dihitung secara numerik menggunakan standar ISO 5167 atau AGA 3. Kekuatan batang sensor suhu (Thermowell) wajib dianalisis resonansi getarannya (*Wake Frequency*) berbasis ASME PTC 19.3 TW. Sementara untuk katup pengontrol fluida (*Control Valve*), nilai *Cv* serta analisis pencegahan kavitasi mutlak dihitung menurut standar ISA 75.01.01 / IEC 60534-2-1. Untuk keselamatan, desain dimensi katup buang tekanan darurat (PSV) harus terbukti kapasitasnya melalui perhitungan standar perminyakan API 520 / API 521.

Semua hasil perhitungan presisi ini kemudian didokumentasikan. Angka-angka hasil *sizing* dipindahkan secara rapi ke dalam formulir pemesanan industri berstandar ISA-TR20.00.01 (*Datasheets*). Tabel-tabel spesifikasi teknis tersebut kemudian ditabulasi ulang bersama pencarian harga katalog pasar untuk merumuskan Bill of Materials (BoM) Final lengkap dengan nama *vendor* pabrikan aslinya. Untuk menjamin instalasinya di lapangan kelak, mahasiswa juga menyusun arsitektur jaringan (*I/O List* via API RP 554), gambar penarikan kabel *point-to-point* (*Loop Diagram* via ISA 5.4), dan denah instalasi 3D CAD posisi mekanis instrumen (*Hook-up* merujuk pada praktik API RP 551).

4.2 Tahap 2: Validasi

Karena proyek Capstone ini tidak menyediakan dana besar untuk membangun pabrik atau instalasi skala nyata, kewajiban pembuktian kinerja alat dialihkan menggunakan metodologi Validasi Sistem via Simulasi Virtual. Mahasiswa memanfaatkan kemampuan peranti lunak industri (*software* kelas atas seperti DW-SIM, Simulink, ANSYS, atau EnergyPlus) untuk membangun "Kembaran Digital" (*Digital Twin*) dari desain P&ID dan BoM yang telah mereka spesifikasikan sebelumnya.

Protokol pengujian simulasi ini diatur merujuk pada standar metodologi Virtual FAT (*Factory Acceptance Test*). Mahasiswa tidak sekadar menunjukkan bahwa sistem kontrol merespons keadaan normal. Mereka wajib menginjeksikan berbagai skenario uji stres (*stress-test*) ekstrem ke dalam *software*, seperti mematikan tiba-tiba satu pompa pasokan,

memberikan fluktuasi cuaca ekstrem mendadak, atau men-simulasikan kemacetan katup kendali.

Dari serangkaian injeksi gangguan ini, mahasiswa harus mengekstraksi data mentah dari *software* dan memplot grafik respons kontroler (seperti *overshoot*, *settling time*, dan stabilitas). Analisis deviasi grafik ini kemudian diadu secara *head-to-head* (divalidasi) dengan toleransi angka performa yang telah mereka janjikan sendiri di dalam dokumen URS pada awal semester PSTF 1. Pembuktian ini menjadi jaminan matematis bahwa rancangan mereka sangat *robust* (tangguh).

4.3 Tahap 3: Kajian Keselamatan (SIS/SIL), Siber, dan Serah Terima

Fase penutup dari rekayasa detail menuntut integrasi aspek keselamatan nyawa dan aset ke dalam dokumen serah terima proyek. Fokus pertama diarahkan pada kajian keselamatan proses. Kelompok secara sistematis menyusun matriks Hazard and Operability Study (HAZOP) untuk mengidentifikasi skenario bencana (kebocoran gas, lonjakan arus). Selanjutnya, instrumen perlindungan pelapis (SIS) dievaluasi probabilitas kegagalannya secara statistik untuk menentukan rating Safety Integrity Level (SIL) yang mengacu ketat pada standar keselamatan manufaktur IEC 61511 / ISA 84.

Pusat kendali operator juga tidak luput dari standardisasi. Rancangan layar pantau SCADA kelompok tidak diperkenankan dibuat warna-warni layaknya permainan video; desain harus mencerminkan ketenangan ergonomis (*High-Performance HMI*) sesuai standar ISA 101.01. Lebih jauh lagi, rasio kemunculan bunyi sirine peringatan wajib dikelola agar operator tidak panik akibat banjir alarm (*alarm flood*), berpatokan pada tata kelola ISA 18.2 / EEMUA 191.

Terakhir, dalam era integrasi sistem fisik dan siber (IoT/Industri 4.0), kelompok diwajibkan menyertakan tinjauan analisis kerentanan keamanan siber jaringan Industrial Control System (ICS). Analisis berbasis kerangka kerja IEC 62443 ini menutup celah peretas menembus sistem pabrik melalui kelalaian arsitektur jaringan lokal. Setelah semua aspek keselamatan dianalisis, kumpulan bundel dokumen ini dirajut menjadi Buku *Detail Engineering Design* Final yang siap dipertahankan di meja ujian akhir.

BAB V: MATRIKS STANDAR INDUSTRI & EKONOMI PADA DOKUMEN LUARAN

Pilar utama yang membedakan kualitas lulusan *Capstone Design* dengan tugas kuliah biasa adalah ketegasan dalam mewajibkan *Code Compliance* (kepatuhan pada standar rekayasa). Mahasiswa harus menyadari bahwa di industri rekayasa global, menggunakan simbol atau rumus "tebakan" tidak sekadar menghasilkan nilai akademis yang jelek, melainkan dapat berujung pada tuntutan hukum atas kelalaian desain pidana.

Untuk menjamin kualifikasi ini, fakultas menetapkan sebuah matriks referensi standar wajib yang tidak bisa ditawar (*mandatory*). Setiap dokumen keluaran mahasiswa harus secara eksplisit mengacu dan menyebutkan standar yang mereka adopsi di dalam laporan teknis mereka. Dosen Pembimbing dan Praktisi akan menggunakan tabel ini sebagai alat ukur absolut untuk mengaudit kualitas dan akurasi desain sebelum memberikan persetujuan kelulusan.

Tabel 1. Matriks standar industri, keselamatan, dan kajian ekonomi yang menjadi acuan penilaian luaran dari *engineering firm* mahasiswa:

Kategori Evaluasi	Standar Internasional / Referensi	Penerapan pada Dokumen Mahasiswa
1. Kajian Tekno-Ekonomi	**NPV, IRR, Payback, ROI**	Analisis finansial CAPEX/OPEX membuktikan kelayakan di PSTF 1 (Proposal).
	NAMUR NA 35	Siklus Perancangan Sistem Otomasi Proses
2. Simbol & Dokumentasi	**ISA 5.1 / ISO 10628**	Simbol mutlak untuk Draf & Final *P&ID* serta *PFD*.
	ISA 5.4 / ISA 5.2	*Instrument Loop Diagram* & Diagram *Interlock* Biner.
	ISA 5.06 / ISA-TR20.00.01	FDS (*Control Narrative*) dan *Datasheets* instrumen spesifik.
3. *Sizing* Rekayasa & Safety	**ISO 5167 / AGA 3 / AGA 9**	Kalkulasi ukuran diameter geometri pelat *Orifice / Flowmeter*.
	ASME PTC 19.3 TW	Perhitungan tebal & resonansi (*Wake Frequency*) *Thermowell*.
	ISA 75.01 / IEC 60534	Kalkulasi *Cv Control Valve* (Kapasitas & pencegahan kavitasi).
	API 520, 521	Kalkulasi orifice area & kapasitas *Safety Relief Valve* (PSV).
4. K3, HMI, & Keamanan Siber	**IEC 61511 (SIL) / ISA 84**	Tinjauan probabilitas kegagalan SIS/SIL dan mitigasi HAZOP.
	ISA 101.01	Prioritas manajemen *Alarm* (EEMUA 191) & layar *HMI* (SCADA).
	IEC 62443	Tinjauan *Cybersecurity* Jaringan Otomasi (*Industrial Control System*).
5. Instalasi Mekanis	**API RP 551 / PIP PCS**	*Hook-up Drawing* pemasangan sensor & *manifold* di perpipaan.

BAB VI: EVALUASI PER KELOMPOK

6.1 Filosofi Evaluasi Kelompok (*Corporate Appraisal*)

Berbeda dengan sistem evaluasi tradisional di mana mahasiswa diuji kognitifnya secara individu, sistem ini mengedepankan filosofi penilaian kinerja perusahaan (*Corporate Appraisal*)**.** Pendekatan ini memaksa seluruh anggota tim memiliki rasa tanggung jawab yang setara; jika satu orang di dalam tim gagal menguasai perhitungannya, maka satu kelompok akan terancam gagal memenangkan "tender" tersebut. Kinerja sinergi antar-peminatan akan sangat diuji di sini.

Meskipun begitu, azas keadilan tetap diakomodasi untuk mencegah fenomena "penumpang gelap" (*free-rider*). Dosen Pembimbing diberikan diskresi hak prerogatif untuk melakukan penyesuaian poin individual secara formatif di akhir semester. Penyesuaian nilai plus-minus ini hanya didasarkan pada penelusuran rekam jejak intensitas pertemuan bimbingan dan kualitas argumen pemecahan masalah yang tercatat secara sah di dalam dokumen **Logbook** harian mahasiswa.

6.2 Mekanisme Evaluasi Industri (Panel Direksi)

Pelaksanaan Evaluasi PSTF 1 maupun PSTF 2 dijalankan melalui mekanisme "Panel Evaluasi Bersilang" yang menghadirkan dua poros penilai dengan objektivitas yang saling melengkapi. Entitas pertama adalah Dosen Koordinator yang mewakili kualitas sains murni. Koordinator menelaah keabsahan rumusan algoritma, ketepatan penurunan rumus matematika Sizing (ISO/ASME), validitas konvergensi dari peranti *software* simulasi, serta kedisiplinan absolut penggunaan kode rekayasa (ISA). Koordinator menjaga agar rekayasa tetap berpijak pada fondasi sains dan kepatuhan teknik yang presisi.

Entitas kedua adalah Dosen Pembimbing/Praktisi Industri yang mewakili realitas dunia industri EPC sesungguhnya. Fokus evaluasi praktisi menukik pada ketajaman insting bisnis kelompok, seperti mengevaluasi kelayakan finansial (NPV vs CAPEX) di tahap Proposal PSTF 1. Pada tahap PSTF 2, Praktisi meninjau kelayakan logistik konstruktabilitas (apakah gambar API 551 mudah dijangkau kunci inggris teknisi di lapangan) dan keandalan skema perlindungan K3 (API 520 & klasifikasi SIL) dalam operasi manufaktur level berat.

6.3 Panduan Penggunaan Tabel Rubrik Penilaian Keluaran Semua Fase

Tabel 2. berfungsi sebagai panduan transparansi parameter kelulusan bagi seluruh aktor yang terlibat (Mahasiswa, Pembimbing, Penguji). Rubrik ini memetakan standar dokumen luaran menjadi empat rentang kuantitatif (Skala 0-100) secara jelas, demi mencegah munculnya subjektivitas dalam pemberian nilai evaluasi di ujung semester.

Kolom Sangat Kurang/Gagal (< 60) mengindikasikan pelanggaran masif teoretis dan tidak dipenuhinya kode standar industri. Kolom Cukup/Revisi Mayor (60-69) menunjukkan

pengerjaan pas-pasan yang masih banyak bolong secara *sizing* atau kajian tekno-ekonominya. Target standar untuk mencetak insinyur yang layak lulus terletak pada rentang Baik/Sesuai Standar (70-79) di mana semua kaidah ISA, API, kalkulasi ASME, dan kelayakan NPV/IRR terpenuhi. Mahasiswa yang sanggup meramu seluruh dokumen setara dengan detail draf teknis profesional korporat sesungguhnya layak masuk dalam keranjang Sangat Baik (80 - 100).

Tabel 2: Tabel Rubrik Penilaian Keluaran Semua Fase

Fase Evaluasi	**Sangat Kurang / Gagal (<60)**	**Cukup / Revisi Mayor (60 - 69)**	**Baik / Sesuai Standar (70 - 79)**	**Sangat Baik / Memuaskan (80 - 100)**
1. PSTF 1: Sains & URS *(Teori, FDS ISA 5.06)*	Teori sains gagal/salah hukum. URS & FDS naratif tak terstruktur.	Teori benar tapi tanpa simulasi. URS ada batas angka namun tak jelas.	Simulasi model dasar jalan. URS kuantitatif. FDS (*Control Narrative*) teratur logis.	Model dinamis terkomputasi sangat presisi. URS/FDS lengkap layaknya kontrak *Client*.
2. PSTF 1: *Basic Eng.* *(PFD, Draf P&ID, Tekno-Ekonomi)*	Draf P&ID tanpa basis ISA 5.1. Kajian uang tak ada NPV/IRR.	Draf P&ID setengah jadi. PFD tanpa neraca massa. NPV dangkal tanpa argumen CAPEX.	PFD (ISO 10628) berneraca massa. Draf P&ID ISA 5.1 masuk akal. Kalkulasi NPV/IRR logis.	Draf P&ID solid. PFD super rinci. NPV/IRR melibatkan hitungan risiko suku bunga pasar.
3. PSTF 2: DED *Standards* *(ISA 5.1, BoM, Hook-up)*	Gambar P&ID Final bebas aturan. Lembar Datasheet ISA-20 kosong. BoM tidak berdasar	P&ID ISA 5.1 parsial. Banyak *Datasheet* kosong. BoM kurang spesifik.	P&ID Final mutlak patuh ISA 5.1. Formulir ISA-20 & *Loop* ISA 5.4 akurat. BoM rill faktual.	Cetak Biru DED (*A3 Folder*) siap tender manufaktur. *Hook-up* mekanis (API 551) presisi 3D.
4. PSTF 2: *Sizing* & Safety *(Sensor, Control Valve, PSV)*	*Sizing* diabaikan sama sekali. Dimensi instrumen asal tebak/bawaan *software*.	*Sizing* via kalkulator web tanpa rumusan standar. PSV/Safety tidak dihitung kapasitasnya.	Sizing sensor (ISO 5167), CV (ISA 75.01), & *Thermowell* (ASME 19.3) dihitung manual. SIL diulas.	Sizing manual & *software* presisi tinggi (termasuk PSV API 520). Integrasi SIL & SIS paripurna.
5. PSTF 2: Validasi FAT *(Virtual Simulasi, HMI ISA 101)*	Simulasi tidak jalan / bukan representasi. Tidak ada kajian Siber/HMI.	Simulasi jalan tapi gagal terekstraksi saat diinjeksi skenario gangguan. Desain HMI.	*Virtual FAT* tahan gangguan. HMI (ISA 101) & Alarm terstandar. Ada mitigasi siber.	Simulasi amat tangguh (merespons drastis dengan statistik valid). Hierarki Alarm EEMUA sempurna.
6. Kinerja *(Kinerja Diskusi Tim)*	Pasif. Tidak mampu membela dasar pemilihan *Sizing*, material pipa, dan harga BoM.	Menjawab tekstual. Kewalahan bila dicecar kelayakan finansial & K3 praktisi.	Saling menopang (*cross-covering*). Paham landasan standar ISA/API & asumsi CAPEX.	Presentasi level *Engineering Manager*. Mampu meredam keraguan Praktisi & Koordinator secara saintifik-bisnis.

BAB VII: DAFTAR REFERENSI STANDAR INDUSTRI (*CODES & STANDARDS*)

7.1 Panduan Literasi Referensi Standar Mutlak

Kemampuan literasi dan eksplorasi spesifikasi (*Code Searching*) adalah kemampuan mutlak bagi setiap sarjana teknik fisika modern. Dalam ekosistem rekayasa pabrik berskala global, tidak ada satupun desain, garis skematik, atau ukuran perangkat keras yang diputuskan berdasar intuisi kosong; semuanya mengacu pada literatur baku yang diawasi oleh komite ahli asosiasi profesi internasional. Oleh karena itu, mahasiswa dilarang keras menukil informasi dari blok internet anonim sebagai rujukan arsitektur keselamatan atau tata cara pengukuran di dalam paket laporan teknis mereka.

Sebagai gantinya, seluruh firma mahasiswa dari setiap peminatan diwajibkan mencari, menginterpretasi, merujuk silang, dan mengaplikasikan secara lugas pedoman dari badan standardisasi berikut ini di sepanjang proyek berjalan. Dosen pembimbing bertindak sebagai fasilitator interpretasi apabila mahasiswa mengalami disorientasi dalam membaca bahasa regulasi *codes* keteknikan yang sangat spesifik dan tebal.

Berikut adalah hierarki pustaka rujukan (Kode dan Standar) yang kebenarannya mengikat secara hukum akademis dan mutlak menjadi parameter penalti bagi auditor pada saat evaluasi akhir Capstone Design PSTF 2 dijalankan:

A. NAMUR (Manajemen Proyek)

- **NAMUR NA 35:** *Implementation of Process Control Engineering in Engineering Projects.*

B. ISA & ISO (Simbol & Dokumentasi)

- **ISA 5.1:** *Instrumentation Symbols and Identification* (P&ID).
- **ISO 10628:** *Diagrams for the chemical and petrochemical industry* (PFD).
- **ISA 5.2:** *Binary Logic Diagrams for Process Operations*.
- **ISA 5.4:** *Instrument Loop Diagrams*.
- **ISA 5.06.01:** *Functional Requirements Documentation* (Control Narrative / FDS).
- **ISA-TR20.00.01:** *Specification Forms for Process Measurement and Control* (*Datasheets*).

C. Perhitungan Rekayasa (*Sizing*)

- **ISA 75.01.01 / IEC 60534-2-1:** *Flow Equations for Sizing Control Valves*.
- **API 520 / API 521:** *Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices*.
- **ISO 5167:** Pengukuran aliran *Differential Pressure* (Orifice, Venturi).

- **AGA 3 / AGA 9:** *Orifice Metering of Natural Gas* / *Ultrasonic Meters*.
- **ASME PTC 19.3 TW:** *Thermowells Performance Test Codes* (*Wake Frequency Calculation*).

D. K3, HMI, Alarm, dan Siber

- **IEC 61511 / ISA 84:** *Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector* (Keselamatan berbasis Instrumentasi).
- **ISA 18.2 / EEMUA 191:** *Management of Alarm Systems for the Process Industries*.
- **ISA 101.01:** *Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*.
- **ISA 88 / IEC 61512:** *Batch Control*.
- **ISA / IEC 62443:** *Security for Industrial Automation and Control Systems* (Keamanan Siber).

E. Instalasi Lapangan & Area Berbahaya

- **API RP 551:** *Process Measurement Instrumentation* (Instalasi/*Hook-up*).
- **IEC 60079:** *Explosive Atmospheres*.
- **NEC / NFPA 70:** *National Electrical Code*.

LAMPIRAN 1:PROSEDUR OPERASIONAL STANDAR

Prosedur ini mengikat seluruh pelaku kegiatan akademik secara linier untuk memastikan tercapainya kualitas yang diharapkan tanpa adanya keterlambatan yang berdampak pada penalti nilai.

TAHAP 1: Rilis Tender & Pembentukan Firma (Minggu 1-2 PSTF 1)

- **[Dosen Koordinator]** Menerbitkan Dokumen *Term of Reference* (TOR) atau Lelang Proyek Makro.
- **[Mahasiswa]** Membentuk Kelompok (3-4 orang) dan memilih 1 TOR untuk dieksekusi.

TAHAP 2: Conceptual & Basic Engineering (Minggu 3-13 PSTF 1)

- **[Mahasiswa]** Melakukan simulasi dasar, menyusun FDS (ISA 5.06), PFD (ISO 10628), Draf P&ID (ISA 5.1)**,** dan mengeksplorasi kalkulasi pasar untuk kelayakan Tekno-Ekonomi (NPV, CAPEX).
- **[Dosen Pembimbing]** Melakukan asistensi, verifikasi kesahihan metode finansial, dan memaraf ACC penyetujuan draf Laporan PSTF 1 sebagai syarat maju presentasi.
- **[Mahasiswa]** Mengeksekusi tahapan korektif/revisi sesuai evaluasi mengumpulkan Laporan Final PSTF1 berformat A4 ((lengkap tersisip Lampiran A3 Cetak Biru di sampul) untuk disahkan oleh Ketua Departemen melalui Bagian Administrasi Akademik DTNTF.

TAHAP 3: Evaluasi Proposal (Minggu 14-16 PSTF 1)

- **[Dosen Koordinator/Dosen Pembimbing/Praktisi Industri]** Melaksanakan Panel Evaluasi kompetitif untuk mengaudit kelayakan desain arsitektur BFD, kelengkapan wujud Draf P&ID awal, dan menantang kepresisian Kelayakan Investasi Finansial Proyek (NPV). Kelompok dinyatakan Layak atau Terkena Revisi Mayor.

TAHAP 4: *Detail Engineering* & Simulasi Virtual (Minggu 1-13 PSTF 2)

- **[Mahasiswa]** Menyusun **P&ID Final**, mendokumentasikan spesifikasi di Form *Datasheets* (ISA-20). **Mutlak Wajib:** Mengeksekusi manual Kalkulasi *Sizing* (ISO 5167, ASME 19.3, ISA 75.01, API 520). Merancang instalasi CAD *Hook-up* (API 551), mitigasi risiko SIL (IEC 61511), dan menetapkan BoM Final Vendor riil.
- **[Mahasiswa]** Mengeksekusi demonstrasi ketahanan sistem melalui *Virtual FAT* dengan menggunakan *software* kelas industri.
- **[Dosen Pembimbing]** Memeriksa secara detail kebenaran matematis dalam manual kalkulasi sizing dan memberikan ACC otorisasi final.

TAHAP 5: Evaluasi Akhir (Minggu 14-16 PSTF 2)

- **[Dosen Koordinator/Dosen Pembimbing/Praktisi Industri]** Mengevaluasi Laporan DED Final, mengevaluasi sumber dan akurasi hitungan Sizing, menelaah efektivitas logika lapisan keselamatan (HAZOP/SIL), menguji kepatuhan penggambaran ISA/API di cetak biru A3, serta menguji akurasi hasil simulasi. Penilaian kelulusan akhir proyek diberikan secara kolektif grup.
- **[Mahasiswa]** Mengeksekusi tahapan korektif/revisi sesuai evaluasi mengumpulkan Laporan Final PSTF2 berformat A4 (lengkap tersisip Lampiran A3 Cetak Biru di sampul) untuk disahkan oleh Ketua Departemen melalui Bagian Administrasi Akademik DTNTF.

LAMPIRAN 2: ATURAN PENGISIAN *LOGBOOK*

Tanggal	Kegiatan	Dicatat oleh	Paraf Dosen Pembimbing

Catatan: Pengisian *logbook* bersifat wajib maksimal 1x24 jam pasca pertemuan, dan redaksi laporannya wajib menyertakan terminologi yang berisikan rincian eksplisit mengenai kendala **penelusuran standarisasi, tahapan kalkulasi sizing, masalah keekonomian, maupun kebuntuan (*bug*) komputasi *software***. Format tidak diperbolehkan berisi bahasa generik abstrak (misal salah: *"Mencari bahan di perpustakaan"*). Sebagai acuan penulisan entri l*ogbook* yang benar: *"Selasa - Menghitung kecepatan pelepasan tekan di safety valve. Kendala: Penentuan koefisien area orifice berdasar standar API 520 menjadi rumit karena variabel viskositas campuran tidak linier. Solusi: Berkonsultasi dengan pembimbing dan merujuk lampiran tabel dari ASME Sec VIII untuk ekstrapolasi."* Buku ini mutlak diparaf rutin mingguan oleh Dosen Pembimbing sebagai instrumen formatif. Keseluruhan baris (jumlah total 12) harus diisi penuh dan harus paraf oleh Dosen Pembimbing baik untuk PSTF1 maupun PSTF2

LAMPIRAN 3A: STRUKTUR BUKU LAPORAN PSTF 1

Susunan laporan PSTF 1(*template* ada di **http://ugm.id/TemplatePSTF1**) mengadopsi format presentasi proposal tender bisnis yang diawali landasan teoretis saintifik yang tidak bisa dibantah secara teknis. Laporan ini tidak diformat layaknya karya ilmiah tesis murni, namun lebih mirip pada buku pelaporan arsitektur teknik tingkat makro.

BAGIAN INTI LAPORAN PSTF 1:

- **BAB 1: KONSEPTUALISASI (NAMUR PHASE 1):** Deskripsi tajam atas latar belakang dokumen lelang TOR, proses penurunan teori model sains sistem (*First-Principle Equations*), dan penetapan kaku parameter batas operasional teknis di dalam **URS (*User Requirement Specifications*)**. *(Pembuktian CPMK1 & CPMK2)*.
- **BAB 2: *FUNCTIONAL DESIGN & CONTROL NARRATIVE*:** Penjabaran strategis berupa teks sekuensial yang menerangkan logika pergerakan proses kendali secara *step-by-step* (mulai dari kalibrasi dasar hingga interlock regulatori), yang format redaksinya merujuk panduan baku **ISA-5.06.01**. *(Pembuktian CPMK2)*.
- **BAB 3: BASIC ENGINEERING FEED (NAMUR PHASE 2):** Eksekusi matriks analitis pembobot opsi alternatif desain awal, visualisasi representasi diagram balok Process Flow Diagram (**ISO-10628**), disajikan berbarengan dengan tabulasi komprehensif atas hitungan teoritis Neraca Massa maupun Neraca Termal (Panas). *(Pembuktian CPMK3)*.
- **BAB 4: KAJIAN TEKNO-EKONOMI:** Pemaparan transparansi perhitungan kalkulasi perkiraan akumulatif anggaran investasi peralatan *Capital Expenditure* (CAPEX), rancangan perkiraan beban operasi *Operational Expenditure* (OPEX), evaluasi simulasi arus kas untuk mendapatkan NPV rasional, perhitungan IRR, dan prediksi waktu penutupan modal (*Payback Period*). *(Pembuktian CPMK3)*.

LAMPIRAN CETAK BIRU PSTF 1 (FORMAT KERTAS A3 Lipat):

- **Lampiran A: Draf P&ID (*Preliminary Piping & Instrumentation Diagram*)**. Cetak biru gambaran awal skematik proses yang memetakan kerangka hierarki rute jalur pipa primer, tata letak *control valve*, penandaan elemen perangkat perlindungan awal, direpresentasikan dengan indeks penandaan/tagging *codes* dasar mengacu kepada **ISA 5.1**.
- **Lampiran B:** Kumpulan salinan/fotokopi Logbook aktivitas riset PSTF 1 dari setiap *partner*/anggota firma, otentik berstempel tanda tangan pembimbing.

LAMPIRAN 3B: STRUKTUR BUKU LAPORAN PSTF 2

Laporan PSTF 2 (*template* ada di **http://ugm.id/TemplatePSTF2**) merupakan reinkarnasi tingkat lanjut dari proposal dasar, yang kini telah disuntikkan secara masif oleh puluhan formula kalkulasi dan standarisasi. Dokumen ini menjadi aset kekayaan teknikal siap serah terima (*Handover Document*), di mana setiap komponen yang dipilih wajib dibuktikan legalitas dimensi keamanannya.

BAGIAN INTI LAPORAN PSTF 2:

- **BAB 1: REVIEW FEED KONSEPTUAL:** Ikhtisar penegasan kembali komitmen parameter di URS dan konsolidasi finalitas arsitektur tata letak dari PFD yang telah direstui di sidang PSTF 1 sebelumnya.
- **BAB 2: PERHITUNGAN REKAYASA (SIZING CALCULATION & SAFETY):** Pembongkaran bukti rentetan kalkulasi matematis mekanikal-instrumentasi mutlak. Sub-bab wajib secara berurutan mendemonstrasikan rumus sizing untuk: Sensor Aliran (*Flowmeter*) merujuk **ISO 5167**; Ketahanan mekanis resonansi Thermowell merujuk **ASME 19.3 TW**; Sizing parameter *Cv* Control Valve merujuk **ISA 75.01**; dan Validasi luasan area pembuangan PSV merujuk regulasi perminyakan **API 520/ASME VIII**. *(Pembuktian progresif CPMK1)*.
- **BAB 3: DETAIL ENGINEERING DESIGN (NAMUR PHASE 3a):** Argumentasi metodologis tata cara pengisian blangko dokumen Spesifikasi Instrumen (Form ISA-20), Justifikasi rekayasa atas pemilihan material pelapis/pipa (klasifikasi *spec break*) pada gambar P&ID Final, serta presentasi tabulasi utuh dokumen pengadaan *Bill of Materials* (BoM) Vendor faktual. *(Pembuktian final CPMK1)*.
- **BAB 4: ARSITEKTUR KENDALI, HMI & SIS:** Rekapitulasi evaluasi klasifikasi proteksi dan Kalkulasi perolehan level **SIL** merujuk probabilitas bahaya **IEC 61511**; Presentasi Matriks pemetaan kontinjensi bahaya operasional mitigasi proses (HAZOP); Rasionalisasi tata letak perwajahan kendali terpusat HMI berbasis **ISA 101**; Manajemen *Alarm* berstandar **ISA 18.2**; serta lampiran kerentanan Tinjauan Siber otomatisasi mengacu pada **IEC 62443**. *(Pembuktian progresif CPMK3)*.
- **BAB 5: HASIL VALIDASI *VIRTUAL FAT*:** Dokumentasi kronologis tata letak injeksi *stress-test* gangguan pada antarmuka simulasi *software*, perekaman pembuktian kurva kestabilan grafik kontrol komputasional akibat injeksi, yang dilanjutkan dengan validasi argumen fisis mendalam mengapa terjadi pembelotan deviasi/error secara ilmiah. *(Pembuktian target CPMK2)*.
- **BAB 6: STANDARD OPERATING PROCEDURE (SOP):** Kompilasi urutan langkah-langkah tata prosedur buku manual (panduan pengoperasian operasional lapangan nyata) atas instalasi mesin instrumentasi hasil rekayasa dari proyek desain ini. *(Pembuktian tahap akhir CPMK3)*.

LAMPIRAN CETAK BIRU PSTF 2 (FORMAT KERTAS A3 Wajib Lipat): Laporan cetak biru skematik (A3) mutlak ditautkan dalam kemasan fisik terpisah pada saku sampul (*cover sleeve*) agar tidak mengurangi kejernihan dan skala piksel bacaan auditor teknis.

- **Lampiran A: P&ID Final** (notasi penulisan ketat dan kaku mengacu eksklusif **ISA 5.1** dengan penambahan parameter tebal/lebar dimensi pipa & interlock *trip* listrik).
- **Lampiran B:** Diagram *Instrument Loop* koneksi perkabelan *point-to-point* (**ISA 5.4**) dan tata bahasa Diagram Logika Biner untuk urutan algoritma operasi (**ISA 5.2**).
- **Lampiran C:** Proyeksi Desain Gambar Pemasangan elevasi instrumen perpipaan (*Hook-up Drawing*) instalasi komponen Mekanikal/Sensor dengan merujuk *good engineering practice* **API RP 551 / PIP PCS**.
- **Lampiran D:** Tumpukan tebal Bundel Formulir Spesifikasi Pemesanan order Instrumen/aktuator (*Datasheets* format **ISA-TR20.00.01**) yang wajib 100% terisi lengkap berdasarkan hasil hitungan dari parameter Bab 2 beserta pencantuman merek manufaktur asli pasaran (Rincian BoM Final lengkap).

LAMPIRAN 4: FORMULIR PENILAIAN PSTF 1

4A. Penilaian oleh DOSEN KOORDINATOR

Aspek Penilaian	Referensi CPMK	Bobot	Skor Kel. (0-100)	Total
1. Model Sains Dasar & FDS (ISA 5.06.01):	**[CPMK1, CPMK2]**	40%		
2. Kesesuaian Integratif BFD, PFD & Draf P&ID:	**[CPMK3]**	40%		
3. Kualitas Dokumen Penulisan Akademik:	**[CPMK3]**	20%		
TOTAL SKOR DOSEN KOORDINATOR (PSTF 1) :	**100%**			

4B. Penilaian oleh DOSEN PEMBIMBING/PRAKTISI INDUSTRI

Aspek Penilaian	Referensi CPMK	Bobot	Skor Kel. (0-100)	Total
1. Kajian Komprehensif Tekno-Ekonomi & Profitabilitas:	**[CPMK3]**	50%		
2. Kelayakan Praktis Skema Komersial pada PFD/Draf P&ID:	**[CPMK3]**	30%		
3. Performa Eksekutif *Project Defense* / Presentasi Tender Lelang:	**[CPMK3]**	20%		
TOTAL SKOR DOSEN PEMBIMBING/PRAKTISI INDUSTRI (PSTF 1) :	**100%**			

LAMPIRAN 5: FORMULIR PENILAIAN SIDANG PSTF 2

5A. Penilaian oleh DOSEN KOORDINATOR

Aspek Penilaian	Referensi CPMK	Bobot	Skor Kel. (0-100)	Total
1. Kalkulasi Analitis Sizing Presisi (ISO/ISA/ASME/API):	**[CPMK1]**	35%		
2. Kepatuhan Kaku Kode Penyusunan DED (ISA 5.1/5.4/20):	**[CPMK1]**	35%		
3. Verifikasi Keabsahan Analisis & Validitas *Virtual FAT*:	**[CPMK2]**	30%		
TOTAL SKOR DOSEN KOORDINATOR (PSTF 1) :	**100%**			

5B. Penilaian oleh DOSEN PEMBIMBING/PRAKTISI INDUSTRI

Aspek Penilaian	Referensi CPMK	Bobot	Skor Kel. (0-100)	Total
1. Tinjauan Praktis DED: Kelayakan Manufaktur & *Supply Chain*:	**[CPMK1]**	40%		
2. Dokumen Teknis Akhir K3: Hierarki Perlindungan (HAZOP/SIL) & Audit Siber:	**[CPMK3]**	40%		
3. Ketahanan Etika Profesional & Presentasi *Project Defense*:	**[CPMK3]**	20%		
TOTAL SKOR DOSEN PEMBIMBING/PRAKTISI INDUSTRI (PSTF 1) :	**100%**			

Lampiran: Histori alur persetujuan

No	Jabatan	Nama	Jenis	Tanggal Disetujui
1	Sekretaris Program Studi Sarjana Teknik Fisika	Dr. Eng. Ir. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng., IPP.	Paraf	Rabu, 19 Agustus 2026 17:17
2	Ketua Program Studi Sarjana Teknik Fisika	Dr.-Ing. Ir. Awang Noor Indra Wardana, S.T., M.T., M.Sc., IPM.	Paraf	Rabu, 19 Agustus 2026 17:23
3	Ketua Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika	Prof. Dr. Ir. Faridah, S.T., M.Sc., IPU. ASEAN Eng.	Tanda Tangan	Kamis, 20 Agustus 2026 09:11

Diajukan oleh Sukini, S.Kom. pada Rabu, 19 Agustus 2026 16:43

Dokumen ini telah melalui proses approval secara daring sebelum QR Code dibubuhkan.
Scan QR Code yang ada di setiap halaman dokumen ini untuk verifikasi.