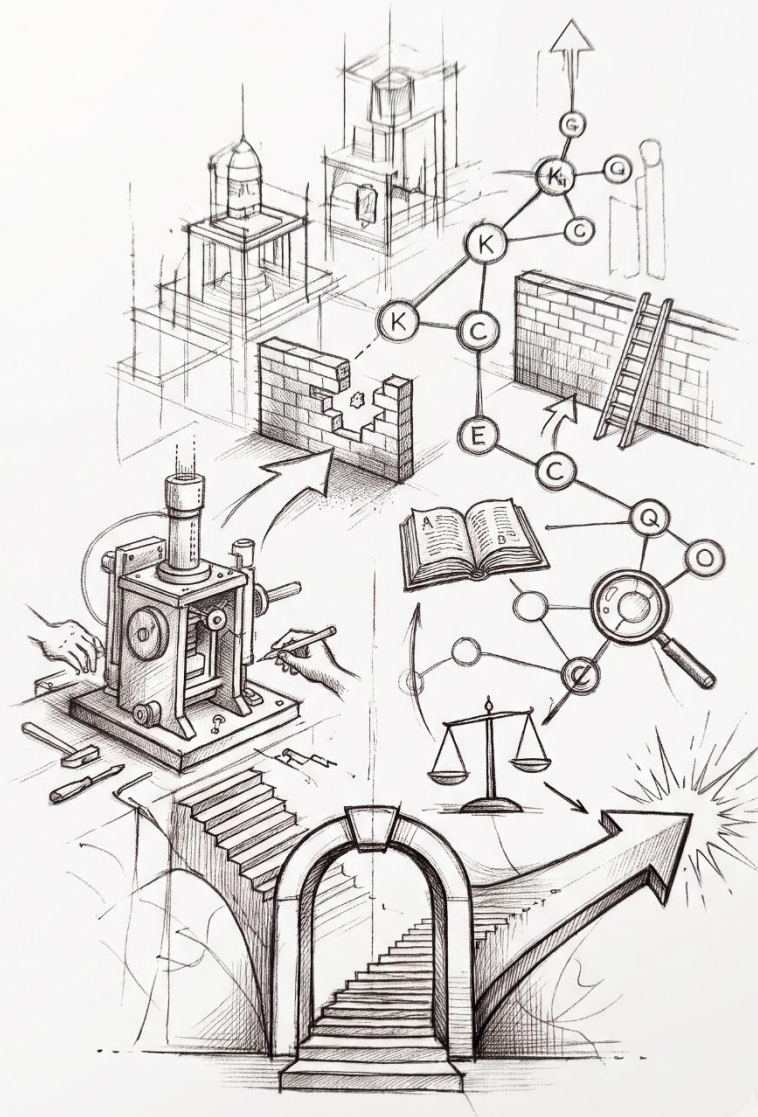


MODUL AJAR

PENELITIAN LEBIH DARI SEKADAR MENGUNAKAN METODE

Bahan Ajar Mata Kuliah Metodologi Penelitian Keteknikan



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Aryantono Martowidjojo

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

KATA PENGANTAR

Bahan ajar ini disusun untuk membantu pembaca memahami apa yang membuat suatu kegiatan keteknikan layak disebut penelitian. Bahan ajar dibagi menjadi empat modul: Modul 1 membedakan penelitian dari praktik dan proyek keteknikan; Modul 2 membahas orientasi penyelidikan, metodologi, dan kontribusi; Modul 3 membahas bukti, representasi, dan klaim yang terbatas; Modul 4 menyatukan seluruh perbedaan tersebut melalui satu kasus terolah lengkap dan tiga lembar kerja diagnostik.

Bahan ajar ini bersifat diagnostik dan konseptual, bukan laboratoris. Pembaca tidak diminta menghafal definisi, melainkan berlatih mendiagnosis kegiatannya sendiri. Setiap modul disusun dengan struktur yang sama:

1. Kemampuan Akhir
2. Tujuan Pembelajaran
3. Uraian Materi
4. Bahan dan Sumber Belajar
5. Aktivitas Belajar
6. Latihan dan Refleksi
7. Jembatan ke Modul Berikutnya

Semoga melalui modul ini mahasiswa mampu membedakan kegiatan teknis, proyek keteknikan, dan penelitian yang dapat dipertahankan, serta mampu merumuskan klaim yang terbatas dan terjustifikasi sebelum melangkah ke tahap pengembangan penelitian yang lebih formal.

Akhir kata, modul ini masih terbuka bagi penyempurnaan. Kritik dan saran sangat diharapkan agar modul ini semakin bermanfaat bagi mahasiswa maupun dosen pengampu.

Jakarta, 2026

Aryantono Martowidjojo

PETUNJUK UMUM MODUL

Supaya dapat memahami modul ini dengan baik, mahasiswa dan dosen diharapkan mempelajarinya dengan cara berikut:

A. Bagi Mahasiswa/Pembaca:

1. Pelajari modul secara berurutan sesuai dengan Rencana Pembelajaran Semester.
2. Pelajari materi pokok secara mandiri sebelum perkuliahan dimulai.
3. Perhatikan Kemampuan Akhir (KA) pada setiap bagian, supaya Anda mengetahui apa yang diharapkan setelah mempelajari materi pokok.
4. Kerjakan setiap jeda diagnostik dan pertanyaan latihan yang tersedia, kemudian diskusikan jawaban Anda dengan dosen atau instruktur.
5. Kerjakan setiap lembar kerja diagnostik (RDP-01, RDP-02, dan RDP-03) menggunakan topik keteknikan Anda sendiri, bukan hanya contoh dalam modul.
6. Catat setiap keputusan penelitian, klaim sementara, dan bukti yang masih diperlukan pada portofolio yang Anda susun sepanjang modul.

B. Bagi Dosen/Instruktur:

1. Memotivasi mahasiswa untuk belajar mandiri, membaca sumber primer, dan berani mengemukakan pendapat.
2. Menerapkan strategi Student Center Learning (SCL), yaitu dosen berperan sebagai fasilitator yang memberi ruang bagi mahasiswa untuk mendiagnosis sendiri status penelitiannya sebelum memperoleh arahan.
3. Menilai pekerjaan mahasiswa berdasarkan ketepatan konseptual, koherensi masalah dan kesenjangan, logika perbandingan, serta proporsionalitas klaim, bukan berdasarkan kecanggihan metode yang digunakan.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	2
PETUNJUK UMUM MODUL	3
DAFTAR ISI.....	4
MODUL 1 - Membedakan Penelitian dari Praktik Keteknikan	9
A. Kemampuan Akhir	9
B. Tujuan Pembelajaran	9
Pertanyaan sentral	9
C. Uraian Materi.....	9
1. Teka-Teki 94%: Apakah Ini Sudah Merupakan Penelitian?	9
Jeda diagnostik pertama	11
2. Mengapa Menggunakan Metode Saja Tidak Cukup	11
Diagnostik 1: Menggunakan suatu metode	12
Praktik keteknikan, proyek, dan penelitian	13
Uji klasifikasi cepat.....	13
3. Penelitian sebagai Penyelidikan yang Sistematis dan Dapat Dipertahankan	14
Penyelidikan	14
Sistematis	14
Dapat dipertahankan	15
Menghasilkan pengetahuan, pemahaman, atau kapabilitas yang terjustifikasi.....	15
Ambang penelitian pertama	16
4. Apa yang Belum terselesaikan? Kesenjangan Pengetahuan dan Kesenjangan Kapabilitas	16
Menerapkan pembedaan tersebut pada pemeliharaan prediktif	17
Ketika kesenjangan-kesenjangan itu berinteraksi	18
Pemeriksaan mutu kesenjangan	18
D. Bahan dan Sumber Belajar	19
E. Aktivitas Belajar.....	19
F. Latihan dan Refleksi	19
G. Jembatan ke Modul Berikutnya.....	19
MODUL 2 - Orientasi Penyelidikan, Metodologi, dan Kontribusi	20

A. Kemampuan Akhir	20
B. Tujuan Pembelajaran	20
C. Uraian Materi.....	20
5. Penyelidikan Ilmiah, Keteknikan, dan Hibrida	20
Satu kasus, tiga kemungkinan penyelidikan	21
Klasifikasi bukanlah label metode.....	21
Batas klasifikasi pengantar.....	22
6. Metode dan Metodologi.....	22
Diagnostik: Desain yang mengutamakan metode	23
Uji metodologi.....	23
7. Artefak, Luaran, dan Kontribusi	24
Diagnostik 2: Membangun suatu artefak.....	24
8. Dari Potensialitas ke Aktualitas yang Terdemonstrasi.....	25
Diagnostik 6: Kontribusi potensial	26
Peta potensialitas-aktualitas yang praktis	27
Pratinjau filosofis: makna potensialitas yang lebih kuat	27
D. Bahan dan Sumber Belajar	28
E. Aktivitas Belajar.....	28
F. Latihan dan Refleksi	28
G. Jembatan ke Modul Berikutnya.....	28
MODUL 3 - Bukti, Representasi, dan Klaim yang Terbatas	29
A. Kemampuan Akhir	29
B. Tujuan Pembelajaran	29
C. Uraian Materi.....	29
9. Data Tidak Menjadi Bukti dengan Sendirinya	29
Diagnostik 3: Melaporkan kinerja	30
Dari skor menjadi bukti.....	30
10. Representasi, Kondisi, dan Klaim Terbatas	31
Diagnostik 4: Perluasan klaim	32
Menyusun klaim yang terbatas.....	32

11. Luaran Bukanlah Kemajuan	33
Diagnostik 5: Luaran dan kemajuan.....	33
Luaran dan kemajuan dalam kasus bantalan.....	34
12. PICOAJ sebagai Diagnostik Penelitian Pengantar	35
Masalah.....	35
Intervensi	35
Perbandingan	36
Luaran	36
Kemajuan	36
Justifikasi.....	36
Peta PICOAJ untuk kasus awal	37
D. Bahan dan Sumber Belajar	37
E. Aktivitas Belajar.....	37
F. Latihan dan Refleksi	38
G. Jembatan ke Modul Berikutnya.....	38
MODUL 4 - Diagnosis Terpadu: Kasus Terolah dan Lembar Kerja	39
A. Kemampuan Akhir	39
B. Tujuan Pembelajaran	39
C. Uraian Materi.....	39
13. Kasus Terolah Lengkap: Dari Model 94% menjadi Desain Penelitian yang Dapat Dipertahankan	39
Tahap 1: Implementasi algoritma	39
Tahap 2: Perbandingan garis dasar.....	40
Tahap 3: Kondisi operasi yang berubah	40
Tahap 4: Kegagalan di luar kondisi pelatihan	41
Tahap 5: Demonstrasi kapabilitas prediktif	41
Tahap 6: Validasi terbatas.....	41
Tahap 7: Klaim kausal yang berlebihan.....	42
Peta keputusan penelitian yang lengkap	42
Pertanyaan pengalihan kasus terolah.....	43
D. Bahan dan Sumber Belajar	43

E. Aktivitas Belajar.....	44
14. Diagnostik Penelitian-atau-Proyek.....	44
RDP-01 Diagnostik Penelitian-atau-Proyek.....	44
Definisi status.....	45
Aturan penimpaan	45
Kutipan diagnostik terolah: sistem inspeksi otonom.....	46
Gerbang mutu	46
15. Peta Keputusan Penelitian Awal	46
RDP-02 Peta Keputusan Penelitian Awal	46
Kutipan contoh: pemeliharaan prediktif.....	47
Aturan konsistensi.....	48
16. Peta Potensialitas-Aktualitas Pengantar	48
RDP-03 Peta Potensialitas-Aktualitas.....	48
Kutipan contoh: kendali termal	49
17. Refleksi, Sintesis, dan Jembatan ke Depan	49
Sintesis bab	50
Aktivitas.....	51
Aktivitas 1: Galeri klasifikasi.....	51
Aktivitas 2: Pembedahan klaim.....	51
Aktivitas 3: Analisis PICOAJ	51
Aktivitas 4: Potensial tetapi belum aktual	51
Aktivitas 5: Diagnostik Penelitian-atau-Proyek.....	52
Aktivitas 6: Peta Keputusan Penelitian Awal	52
Aktivitas 7: Peta Potensialitas-Aktualitas.....	52
Aktivitas 8: Refleksi dan pengalihan	52
F. Latihan dan Refleksi	52
Asesmen bab.....	52
G. Jembatan ke Modul Berikutnya.....	53
DAFTAR PUSTAKA	54

MODUL 1 - Membedakan Penelitian dari Praktik Keteknikan

A. Kemampuan Akhir

Setelah menyelesaikan Modul ini, Anda seharusnya mampu:

1. menjelaskan mengapa menggunakan suatu metode, mengumpulkan data, atau membangun suatu artefak tidak secara otomatis merupakan penelitian;
2. membedakan praktik keteknikan, kegiatan teknis, proyek keteknikan, dan penelitian keteknikan;
3. membedakan kesenjangan pengetahuan awal dari kesenjangan kapabilitas;

Modul ini merupakan pintu masuk ke perjalanan pengembangan penelitian, bukan ringkasan padat seluruh prosesnya. Tinjauan pustaka, penyusunan kesenjangan secara formal, pertanyaan dan tujuan penelitian, desain penelitian, verifikasi dan validasi, interpretasi, serta kontribusi akan dikembangkan secara bertahap pada modul-modul selanjutnya.

B. Tujuan Pembelajaran

Peneliti bidang keteknikan sering kali memulai dari sebuah alat: paket simulasi, algoritma pembelajaran mesin, rig pengujian, sensor, metode optimasi, atau gagasan prototipe. Kompetensi teknis dalam menggunakan alat-alat tersebut bernilai penting, tetapi hal itu sendiri tidak menciptakan penelitian. Modul ini mengembangkan keterampilan diagnostik pertama dalam buku ini: menentukan apa yang harus ditambahkan pada suatu kegiatan keteknikan agar kegiatan tersebut dapat menjadi sistematis, menghasilkan bukti, memiliki klaim yang terbatas, dan mampu menegaskan suatu kemajuan.

Pertanyaan sentral

Apa yang mengubah suatu kegiatan keteknikan, proyek teknis, eksperimen, model, atau artefak menjadi penelitian yang dapat dipertahankan?

C. Uraian Materi

1. Teka-Teki 94%: Apakah Ini Sudah Merupakan Penelitian?

Seorang insinyur diminta mengurangi penghentian tak terencana pada suatu fasilitas mesin berputar. Kegagalan bantalan menimbulkan biaya besar, inspeksi mengganggu produksi, dan jadwal pemeliharaan yang berlaku terkadang mengganti komponen yang masih sehat sementara melewati kegagalan yang berkembang di antara waktu inspeksi. Insinyur tersebut mengumpulkan sinyal sensor historis, melatih sebuah model pembelajaran mesin, dan melaporkan akurasi sebesar 94 persen.

Apakah insinyur tersebut telah melakukan penelitian?

Pekerjaan itu masuk akal secara teknis. Data telah diproses. Sebuah algoritma telah diimplementasikan. Sebuah hasil numerik telah dihasilkan. Proyek tersebut bahkan mungkin bermanfaat. Namun, tidak satu pun fakta tersebut, secara sendirian, menjawab pertanyaan itu.

Untuk memutuskan apakah kegiatan tersebut merupakan penelitian, kita memerlukan informasi yang tidak disediakan oleh skor akurasi. Masalah tak terselesaikan apa yang sedang diselidiki? Apa yang belum diketahui, atau kapabilitas apa yang saat ini belum tersedia? Bagaimana kegagalan dilabeli? Kasus apa yang digunakan untuk melatih dan menguji model? Apa yang dihitung sebagai keputusan benar oleh “akurasi” tersebut? Seberapa sering kegagalan sebenarnya terjadi? Garis dasar apa yang harus dilampaui oleh model? Apa yang terjadi ketika kecepatan operasi, beban, suhu, atau kondisi sensor berubah? Keputusan pemeliharaan mana yang diharapkan diperbaiki oleh prediksi tersebut? Klaim apa yang berusaha didukung oleh insinyur tersebut, dan dalam kondisi apa klaim itu tetap dapat dipertahankan?

Pertanyaan-pertanyaan ini bukan permintaan akan detail yang bersifat hiasan. Pertanyaan-pertanyaan tersebut menentukan apa yang dapat dimaknai oleh angka yang dilaporkan. Skor 94 persen dapat menggambarkan kapabilitas prediktif yang bernilai, hasil yang tidak informatif pada kumpulan data yang tidak berimbang, perbandingan terhadap garis dasar yang lemah, atau sebuah model yang hanya bekerja pada kondisi yang telah terwakili dalam data pelatihannya. Angka itu tidak dapat ditafsirkan terpisah dari masalah, representasi, perbandingan, logika analitis, dan kondisi yang menghasilkannya.

Kasus hipotetis ini akan muncul kembali sepanjang bab. Nilai-nilai numeriknya adalah perangkat pengajaran, bukan temuan empiris yang dilaporkan. Pada setiap tahap, kita akan menambahkan satu elemen yang hilang dan menanyakan bagaimana status pekerjaan tersebut berubah.

Oleh karena itu, pertanyaan sentral Modul ini adalah:

Apa yang mengubah suatu kegiatan keteknikan, proyek teknis, eksperimen, model, atau artefak menjadi penelitian yang dapat dipertahankan?

Jawaban singkatnya adalah bahwa penelitian tidak dikenali dari alat tertentu. Penelitian dikenali dari struktur penyelidikan yang saling terhubung:

kegiatan keteknikan

-> masalah tak terselesaikan

-> kesenjangan pengetahuan atau kesenjangan kapabilitas

-> penyelidikan sistematis

-> tindakan penghasil bukti

-> klaim terbatas

-> kemajuan

Bagian selanjutnya dari Modul ini menjelaskan cara mendiagnosis struktur tersebut. Bagian tersebut belum mengajarkan keseluruhan urutan tinjauan pustaka, penyusunan kesenjangan secara formal, pertanyaan penelitian, tujuan, desain penelitian, validasi, dan kontribusi. Sebaliknya, bagian tersebut akan membantu Anda memutuskan apakah suatu situasi keteknikan siap memasuki urutan tersebut dan apa yang harus diperjelas berikutnya.

Jeda diagnostik pertama

Sebelum melanjutkan membaca, klasifikasikan kasus pemeliharaan prediktif tersebut hanya dengan menggunakan informasi yang tersedia:

- kegiatan teknis;
- proyek keteknikan;
- penelitian potensial;
- desain penelitian yang dapat dipertahankan; atau
- informasi tidak memadai.

Jawaban terkuat adalah informasi tidak memadai. Kita mengetahui bahwa suatu metode telah digunakan dan suatu luaran telah dihasilkan, tetapi kita belum mengetahui apakah kegiatan tersebut dipandu oleh kesenjangan yang berkonsekuensi, perbandingan yang kredibel, representasi yang memadai, atau klaim yang dapat didukung. Klasifikasi itu dapat berubah seiring ditambahkannya elemen-elemen tersebut.

Jawaban tersebut penting karena penilaian penelitian sering dimulai dengan menolak menafsirkan secara berlebihan suatu luaran yang tampak mengesankan.

2. Mengapa Menggunakan Metode Saja Tidak Cukup

Metode keteknikan dapat bersifat sulit, bernilai, dan berkonsekuensi secara profesional. Analisis elemen hingga dapat menuntut kecermatan pada geometri, pemodelan material, pembuatan mesh, kondisi batas, dan interpretasi numerik. Sebuah eksperimen termal dapat menuntut sensor terkalibrasi dan beban terkendali. Suatu alur kerja pembelajaran mesin dapat menuntut pembersihan data yang ekstensif, konstruksi fitur, pelatihan, dan pengujian. Membangun salah satu dari hal-hal tersebut secara kompeten dapat menunjukkan keahlian yang substansial.

Namun, kesulitan teknis bukanlah kriteria yang memisahkan penelitian dari nonpenelitian.

Metode adalah prosedur atau teknik yang digunakan untuk mengukur, membangun, memodelkan, menyimulasikan, menguji, menganalisis, atau menafsirkan. Penelitian menuntut penjelasan beralasan mengenai apa yang hendak dipelajari atau ditegakkan melalui metode tersebut. Metode harus terhubung dengan suatu masalah, klaim yang dituju, bukti yang diperlukan, alternatif yang relevan, serta kondisi di mana kesimpulan itu akan berlaku. Inilah sebabnya metodologi penelitian lebih luas daripada sekumpulan metode: metodologi mencakup logika di balik pemilihannya, asumsinya, relevansinya terhadap masalah, dan dasar yang memungkinkan orang lain mengevaluasi keputusan yang diambil (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 11).

Perhatikan seorang insinyur yang menyatakan:

“Saya menggunakan analisis elemen hingga; oleh karena itu, ini adalah penelitian.”

Pernyataan tersebut menyebut suatu kegiatan, tetapi bukan suatu penyelidikan. Pernyataan itu tidak memberi tahu kita apakah analisis tersebut mereproduksi perhitungan yang sudah baku untuk suatu desain rutin, menguji kememadaiannya suatu model tersederhanakan, membandingkan representasi yang bersaing, menyelidiki kegagalan yang belum ter jelaskan, atau mengevaluasi desain baru di bawah pembebanan yang tidak pasti. Metode yang sama dapat melayani salah satu dari tujuan-tujuan tersebut. Sebagian akan merupakan praktik keteknikan biasa. Sebagian dapat menjadi penelitian. Metode itu sendiri tidak menentukannya.

Diagnostik 1: Menggunakan suatu metode

Pertanyaan kritis. Apa yang ditegakkan oleh analisis elemen hingga dalam penyelidikan ini?

Penalaran yang tampak masuk akal tetapi keliru.

“Saya menggunakan analisis elemen hingga; oleh karena itu, ini adalah penelitian.”

Mengapa penalaran itu gagal. Pernyataan tersebut tidak menyediakan masalah tak terselesaikan, kesenjangan pengetahuan atau kapabilitas, perbandingan, kebutuhan bukti, klaim terbatas, ataupun kemajuan. Pernyataan itu juga menyembunyikan asumsi dan batas representasinya. Menjalankan sebuah model dapat menghasilkan luaran tanpa menghasilkan bukti bagi suatu klaim penelitian.

Suatu formulasi yang dapat dipertahankan.

“Studi ini akan menguji apakah model jembatan berorde tereduksi mengestimasi tegangan lantai jembatan dalam toleransi galat yang telah ditetapkan relatif terhadap garis dasar fidelitas tinggi yang terkalibrasi untuk kasus pembebanan yang dinyatakan.”

Mengapa formulasi itu dapat dipertahankan. Pernyataan yang direvisi tersebut mengidentifikasi apa yang tidak pasti, apa yang dibandingkan, bagaimana kememadaiannya akan dinilai, dan kondisi mana yang direpresentasikan. Analisis elemen hingga kini melayani suatu penyelidikan penghasil bukti, bukan berfungsi sebagai identitas penyelidikan itu sendiri.

Batas klaim. Kesesuaian untuk kasus pembebanan statis yang dinyatakan tidak menegaskan bahwa keseluruhan jembatan aman. Hal itu tidak mencakup penurunan mutu yang tidak dimodelkan, kelelahan material, aksi lingkungan yang tidak lazim, kegagalan sambungan, interaksi tanah-struktur, atau bahaya lainnya. Hasilnya menyangkut kememadaiannya model untuk suatu penggunaan tertentu.

Pelajaran umum. Suatu metode menjadi relevan bagi penelitian melalui hubungan masalah-klaim-bukti yang dilayaninya.

Kasus batas. Analisis elemen hingga rutin yang dilakukan untuk memastikan kepatuhan terhadap prosedur baku dapat merupakan pekerjaan keteknikan profesional yang sangat baik. Pekerjaan itu tidak perlu digambarkan ulang sebagai penelitian agar bernilai.

Praktik keteknikan, proyek, dan penelitian

Batas tersebut menjadi lebih jelas ketika kita membedakan empat jenis kegiatan.

Praktik keteknikan menerapkan pengetahuan yang telah baku dan pertimbangan profesional untuk memenuhi kebutuhan dalam situasi tertentu. Seorang insinyur dapat menentukan dimensi komponen, mengonfigurasi pengendali, memilih material standar, menginspeksi peralatan, atau menerapkan prosedur diagnostik yang sudah dikenal. Pekerjaan tersebut dinilai terutama dari apakah ia memenuhi tujuan profesional, persyaratan, standar, kendala, dan tanggung jawabnya.

Kegiatan teknis adalah satuan kerja yang lebih terbatas: mengumpulkan data, menjalankan simulasi, melatih model, melakukan pengujian, menulis kode, atau membangun rangkaian. Kegiatan ini dapat terjadi di dalam praktik, proyek, maupun penelitian. Dengan sendirinya, kegiatan tersebut tidak banyak mengatakan tentang status intelektual dari usaha yang lebih besar.

Proyek keteknikan mengorganisasikan kegiatan untuk menghasilkan luaran bagi kebutuhan yang telah ditetapkan. Proyek dapat menghasilkan prototipe, proses, analisis, instalasi, sistem perangkat lunak, atau keputusan operasional. Sebuah proyek dapat bersifat inovatif dan sulit sekaligus tetap bersifat lokal bagi satu klien, fasilitas, atau spesifikasi. Keberhasilannya dapat sepenuhnya dibenarkan oleh penyerahan hasil sesuai persyaratan.

Penelitian keteknikan menambahkan penyelidikan sistematis terhadap sesuatu yang secara berkonsekuensi belum terselesaikan. Penelitian mencari pengetahuan, pemahaman, atau kapabilitas yang dapat dibenarkan melampaui pernyataan bahwa “kami telah membangunnya” atau “sekali waktu berhasil”. Klaimnya tetap terbatas pada bukti, representasi, dan kondisi yang diteliti, tetapi penalarannya dapat diperiksa, ditantang, dan berpotensi dialihkan ke konteks lain.

Kategori-kategori ini tidak membentuk hierarki nilai kemanusiaan. Penelitian tidak otomatis lebih bermanfaat daripada praktik, dan sebuah proyek tidak menjadi lebih rendah karena tidak menghasilkan kontribusi penelitian. Kategori-kategori tersebut menjawab pertanyaan yang berbeda. Praktik menanyakan apakah tindakan yang bertanggung jawab memenuhi kebutuhan nyata. Proyek menanyakan apakah luaran yang dituju telah diserahkan. Penelitian menanyakan pengetahuan atau kapabilitas yang dapat dipertahankan yang telah dihasilkan melalui penyelidikan.

Uji klasifikasi cepat

Ajukan empat pertanyaan:

1. **Apa yang belum terselesaikan? Jika jawabannya hanya “tugas itu belum selesai dikerjakan”, kegiatan tersebut mungkin merupakan proyek dan bukan penelitian.**

2. **Apa yang dapat dipelajari atau ditegakkan? Suatu hasil kerja yang diserahkan belum merupakan klaim pengetahuan.**
3. **Bukti apa yang dapat mendukung atau menantang klaim tersebut? Jika tidak ada hasil yang mungkin dapat berbicara melawan kesimpulan itu, penyelidikan tersebut tidak benar-benar mengujinya.**
4. **Apa yang menjadi dapat dipahami atau dapat dilakukan secara baru relatif terhadap suatu perbandingan yang relevan? Jika jawabannya hanya mengulang luaran, kemajuan belum diartikulasikan.**

Uji tersebut bersifat diagnostik, bukan mekanis. Sebuah proyek keteknikan dapat berkembang menjadi penelitian ketika muncul ketidakpastian yang berkonsekuensi. Penelitian juga dapat memuat kegiatan teknis rutin yang dengan sendirinya tidak menyumbang kebaruan. Status tersebut melekat pada struktur dan tujuan penyelidikan, bukan pada setiap tugas individual.

3. Penelitian sebagai Penyelidikan yang Sistematis dan Dapat Dipertahankan

Penelitian dapat diperkenalkan sebagai pencarian pengetahuan secara sistematis yang melibatkan perumusan masalah, pengumpulan dan evaluasi data, penarikan inferensi, penyimpulan, serta pengujian kesimpulan tersebut secara cermat (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 6). Untuk buku ini, definisi tersebut diperluas bagi bidang keteknikan:

Penelitian adalah penyelidikan yang sistematis dan dapat dipertahankan yang menghasilkan pengetahuan, pemahaman, atau kapabilitas keteknikan yang terjustifikasi.

Setiap kata dalam definisi tersebut mengendalikan satu kegagalan yang umum terjadi.

Penyelidikan

Penyelidikan dimulai ketika sesuatu yang berkonsekuensi masih terbuka. Peneliti tidak sekadar menjalankan tugas, melainkan berupaya menyelesaikan ketidakpastian atau menegaskan kapabilitas. Suatu penyelidikan dapat bersifat empiris, teoretis, komputasional, interpretatif, berbasis desain, atau hibrida. Yang menjadikannya penyelidikan bukanlah adanya eksperimen; melainkan upaya terdisiplin untuk menjawab pertanyaan atau membenarkan keputusan yang belum terselesaikan.

Sistematis

Sistematis tidak berarti bahwa setiap proyek mengikuti satu urutan yang kaku. Kegiatan penelitian saling bertumpang tindih, dan temuan berikutnya sering menuntut peninjauan kembali keputusan sebelumnya. Tinjauan pustaka dapat mengubah masalah; data rintisan dapat mengungkap kondisi yang tersembunyi; prototipe yang gagal dapat menyingkap asumsi yang mengubah pertanyaan penelitian. Oleh karena itu, panduan penelitian merupakan disiplin keputusan yang saling terhubung, bukan ban berjalan (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 51-52).

Penyelidikan yang sistematis membuat keputusan-keputusan tersebut cukup eksplisit untuk diperiksa. Penyelidikan itu mencatat masalah apa yang ditangani, asumsi apa yang dibuat, mengapa suatu representasi memadai, bukti apa yang diperlukan, bagaimana alternatif dibandingkan, dan mengapa

kesimpulan tersebut mengikuti. Desain yang kuat juga melaporkan keterbatasan dan membatasi kesimpulan pada dasar yang disediakan oleh data (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 17-18).

Dapat dipertahankan

Dapat dipertahankan tidak berarti pasti, tak tersentuh, atau bebas dari kritik. Hal itu berarti bahwa penalarannya dapat diperiksa dan bahwa klaimnya memiliki dukungan yang sepadan dengan cakupannya. Peneliti lain seharusnya dapat menanyakan:

- Apa masalahnya?
- Apa yang direpresentasikan atau diabaikan oleh studi tersebut?
- Mengapa metode ini tepat?
- Apa yang akan dihitung sebagai bukti yang berlawanan?
- Terhadap apa hasil tersebut dibandingkan?
- Asumsi dan kondisi mana yang membatasi klaim tersebut?
- Penjelasan atau desain alternatif apa yang masih tersisa?
- Apa yang telah maju, dan bagi siapa?

Penelitian dapat dipertahankan apabila ia mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut tanpa bersandar pada otoritas peneliti, prestise suatu alat, atau daya tarik suatu hasil. Asumsi filosofis juga penting karena memengaruhi apa yang dianggap sebagai realitas, pengetahuan, bukti, masalah yang bermakna, dan justifikasi yang dapat diterima. Pemilihan metode berada di hilir komitmen-komitmen tersebut, bahkan ketika komitmen itu tetap implisit (Paradigma Penelitian, subbagian 1.1–1.2).

Menghasilkan pengetahuan, pemahaman, atau kapabilitas yang terjustifikasi

Penyelidikan ilmiah sering bertujuan terutama untuk mendeskripsikan, menjelaskan, atau memprediksi fenomena. Penyelidikan keteknikan sering bertujuan untuk menciptakan, memperbaiki, memilih, atau memvalidasi apa yang dapat bekerja di bawah kendala. Keduanya menuntut justifikasi. Penjelasan baru harus didukung terhadap alternatifnya; kapabilitas baru harus dievaluasi terhadap persyaratan dan perbandingan yang relevan. Penyelidikan hibrida dapat melakukan keduanya.

Kata menghasilkan juga harus diperlakukan dengan hati-hati. Studi yang baru diusulkan belum menghasilkan pengetahuan yang dituju. Prototipe belum otomatis menghasilkan kapabilitas yang tervalidasi. Suatu hasil belum otomatis menghasilkan kemajuan. Oleh karena itu, status penelitian dan status kontribusi perlu dibedakan:

- desain penelitian yang dapat dipertahankan memiliki rencana yang koheren untuk menghasilkan dan mengevaluasi bukti;
- penyelidikan yang telah selesai dan dapat dipertahankan telah menjalankan rencana tersebut dan membenarkan klaim-klaim yang terbatas;
- kontribusi menyatakan kemajuan yang mengikuti klaim-klaim tersebut relatif terhadap apa yang sebelumnya diketahui atau dimungkinkan.

Modul ini terutama membantu Anda mencapai keadaan yang pertama di antara ketiganya.

Ambang penelitian pertama

Suatu kegiatan keteknikan melintasi ambang awal menjadi penelitian potensial ketika kegiatan itu memiliki:

- masalah tak terselesaikan yang berkonsekuensi;
- kesenjangan pengetahuan awal, kesenjangan kapabilitas, atau keduanya;
- arah penyelidikan yang dapat dijawab;
- tindakan penghasil bukti, bukan sekadar penggunaan metode;
- perbandingan atau garis dasar yang relevan;
- klaim yang masuk akal dan dapat dibatasi;
- serta kemajuan yang mungkin dicapai yang tidak sekadar mengganti nama luaran.

Kegiatan tersebut mencapai desain penelitian yang dapat dipertahankan ketika elemen-elemen itu membentuk hubungan yang koheren dan dapat diaudit. Label tersebut tetap tidak berarti bahwa luaran yang diusulkan akan terjadi. Label itu berarti penyelidikan dirancang sedemikian rupa sehingga keberhasilan, kegagalan, keterbatasan, dan revisi masing-masing dapat mengajarkan sesuatu kepada kita.

Kembalilah kini ke model kegagalan bantalan dengan akurasi 94 persen. Implementasi model tersebut tetap merupakan kegiatan teknis. Inisiatif pemeliharaan tersebut mungkin merupakan proyek keteknikan. Situasi itu mungkin memuat penelitian potensial, tetapi hanya jika kesenjangan yang belum terselesaikan, kebutuhan bukti, perbandingan, klaim, dan kondisinya dapat dibuat eksplisit. Oleh karena itu, langkah berikutnya bukanlah memilih algoritma yang lebih canggih, melainkan mengidentifikasi apa yang belum diketahui dan apa yang belum dapat dilakukan.

4. Apa yang Belum Terselesaikan? Kesenjangan Pengetahuan dan Kesenjangan Kapabilitas

Frasa “ada masalah” dapat merujuk pada beberapa situasi yang berbeda. Suatu lini produksi mungkin terlalu sering berhenti. Inspeksi jembatan mungkin mahal. Suatu pengendali mungkin merespons terlalu lambat. Sensor mungkin mengalami penyimpangan. Semua itu adalah kesulitan praktis, tetapi kesulitan praktis belum merupakan kesenjangan penelitian.

Penelitian dimulai dengan mengidentifikasi apa dari kesulitan tersebut yang masih belum terselesaikan. Dua pertanyaan berikut sangat berguna:

Apa yang belum kita ketahui?

Apa yang belum dapat kita lakukan secara memadai?

Pertanyaan pertama mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan. Pertanyaan kedua mengidentifikasi kesenjangan kapabilitas.

Kesenjangan pengetahuan adalah ketidakpastian yang berkonsekuensi mengenai apa yang benar, bagaimana suatu sistem berperilaku, mengapa suatu hasil terjadi, hubungan mana yang penting, atau representasi mana yang memadai. Kesenjangan kapabilitas adalah ketidakmampuan yang

berkonsekuensi untuk memprediksi, mengendalikan, merancang, mendeteksi, memverifikasi, memvalidasi, atau dengan cara lain mencapai hasil yang dituju di bawah kendala yang relevan.

Pembedaan tersebut mencegah dua kekeliruan yang umum. Yang pertama adalah memperlakukan setiap kebutuhan operasional sebagai kesenjangan pengetahuan. Suatu fasilitas mungkin membutuhkan pompa baru meskipun pemilihan pompa sudah dipahami dengan baik. Memasanginya dapat merupakan proyek keteknikan tanpa menjadi penelitian. Yang kedua adalah memperlakukan setiap masalah penelitian sebagai kekurangan penjelasan. Penelitian keteknikan dapat diperlukan karena pengetahuan yang ada belum dapat menghadirkan kapabilitas yang dibutuhkan pada rentang kondisi tertentu, bahkan ketika prinsip fisis yang mendasarinya secara umum telah dipahami. Penelitian keteknikan sering menangani masalah kompleks melalui aproksimasi, model, metode semiempiris, dan evaluasi karena penanganan eksak tidak praktis (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 49-50).

Menerapkan pembedaan tersebut pada pemeliharaan prediktif

Kembali ke kasus kegagalan bantalan. Masalah operasionalnya adalah penghentian tak terencana. Beberapa kesenjangan yang berbeda dapat berada di baliknya.

Kesenjangan pengetahuan awal dapat berupa:

Belum diketahui perubahan mana pada sinyal vibrasi dan suhu yang tersedia yang secara andal mendahului keadaan kegagalan yang dilabeli pada seluruh rezim operasi yang relevan di fasilitas tersebut.

Kesenjangan kapabilitas awal dapat berupa:

Proses pemeliharaan saat ini tidak dapat memberikan peringatan yang cukup dini dan andal mengenai keadaan kegagalan yang dilabeli sambil menjaga alarm palsu dalam batas operasional yang dapat diterima.

Pernyataan-pernyataan tersebut hanyalah titik awal. Pernyataan itu belum ditegakkan melalui tinjauan pustaka, analisis pemangku kepentingan, atau pemeriksaan sistem yang berjalan. Modul 4 akan menunjukkan bagaimana kesulitan yang teramati menjadi masalah penelitian yang dapat dipertahankan, dan modul-modul di antaranya akan menunjukkan bagaimana pustaka digunakan untuk menegakkan kesenjangan, bukan sekadar menyatakannya. Untuk sementara, langkah penting yang harus diambil adalah berhenti mendefinisikan masalah sebagai “kami belum menggunakan pembelajaran mesin”. Ketiadaan metode yang disukai belum tentu berkonsekuensi.

Bandingkan dua rumusan berikut:

“Belum ada seorang pun di fasilitas ini yang menerapkan algoritma X.”

dan:

“Metode peringatan saat ini tidak mempertahankan kinerja deteksi yang dibutuhkan pada rentang beban dan kecepatan yang menentukan keputusan pemeliharaan.”

Rumusan pertama melaporkan ketiadaan yang bersifat lokal. Rumusan kedua mengidentifikasi keterbatasan kapabilitas beserta konsekuensi keputusan dan kondisinya. Algoritma X mungkin akhirnya relevan, tetapi ia belum menjadi alasan bagi penyelidikan tersebut.

Ketika kesenjangan-kesenjangan itu berinteraksi

Kesenjangan pengetahuan dan kapabilitas sering membentuk lingkaran. Suatu prototipe dapat gagal karena mekanisme penting kurang dipahami. Menyelidiki kegagalan tersebut dapat menghasilkan pengetahuan baru. Pengetahuan itu dapat memandu perancangan ulang, yang kemudian menciptakan kapabilitas yang dapat diuji. Sebaliknya, upaya membangun kapabilitas baru dapat menyingkap fenomena yang tidak terlihat melalui pengamatan semata.

Bayangkan sebuah prototipe kendali termal yang dimaksudkan untuk menjaga komponen yang tersusun rapat berada dalam pita suhu tertentu sambil menghormati batas energi. Kesenjangan kapabilitasnya adalah ketidakmampuan mempertahankan pita tersebut selama profil beban kalor yang bervariasi. Selama pengujian, insinyur menemukan lonjakan suhu lokal yang berulang yang tidak diprediksi oleh model terpumpun yang ada. Ketidaksesuaian tersebut menciptakan kesenjangan pengetahuan mengenai kememadai representasi perpindahan kalor atau respons waktu yang diasumsikan. Program hibrida dapat menyelidiki ketidaksesuaian tersebut sekaligus merancang ulang pengendalinya.

Kedua kesenjangan itu tetap harus dicatat secara terpisah. Jika tidak, suatu proyek dapat bergeser dari “kami perlu membangun pengendali yang lebih baik” menjadi “kami telah menjelaskan mekanisme perpindahan kalor” tanpa menghasilkan bukti bagi klaim penjelasan tersebut.

Pemeriksaan mutu kesenjangan

Gunakan uji pengantar berikut:

- 1. Konsekuensi: Mengapa ketidakpastian atau ketidakmampuan itu penting?**
- 2. Keadaan sekarang: Apa yang saat ini diketahui atau dimungkinkan?**
- 3. Kekurangan: Apa yang masih belum diketahui atau belum memadai?**
- 4. Kondisi: Untuk sistem, populasi, lingkungan, beban, atau keputusan mana kesenjangan tersebut berlaku?**
- 5. Bukti yang diperlukan: Apa yang akan menunjukkan bahwa kesenjangan tersebut telah berkurang?**

Jika pertanyaan-pertanyaan tersebut belum dapat dijawab, status yang tepat mungkin adalah informasi tidak memadai, bukan “tidak ada penelitian”. Diagnosis tersebut bersifat produktif. Diagnosis itu memberi tahu peneliti apa yang harus ditegakkan berikutnya oleh tinjauan pustaka, penggalan pemangku kepentingan, pengukuran awal, atau penilaian teknis.

D. Bahan dan Sumber Belajar

Modul ini bersifat konseptual. Bahan dan sumber belajar berikut sebaiknya tersedia bagi setiap pembaca:

- uraian materi bagian 1 sampai 4 pada modul ini;
- satu kasus keteknikan milik pembaca sendiri yang sedang dikerjakan atau direncanakan;
- catatan definisi kerja untuk istilah kegiatan teknis, proyek keteknikan, dan penelitian keteknikan;
- jurnal belajar untuk mencatat diagnosis, keputusan, dan pertanyaan yang belum terselesaikan.

E. Aktivitas Belajar

Kerjakan aktivitas berikut secara berurutan. Aktivitas ini bersifat analitis, bukan laboratoris.

- Aktivitas 1.1 - Galeri klasifikasi: klasifikasikan lima kegiatan keteknikan di sekitar Anda sebagai kegiatan teknis, proyek keteknikan, atau penelitian keteknikan, dan sebutkan alasannya.
- Aktivitas 1.2 - Uji ambang penelitian: uji satu kegiatan Anda sendiri terhadap empat kata kunci definisi penelitian: penyelidikan, sistematis, dapat dipertahankan, dan menghasilkan pengetahuan.
- Aktivitas 1.3 - Rumusan kesenjangan: tuliskan satu kesenjangan pengetahuan dan satu kesenjangan kapabilitas dari kasus Anda, lalu periksa apakah keduanya tidak tertukar.

F. Latihan dan Refleksi

- Mengapa penggunaan suatu metode tidak dengan sendirinya menjadikan suatu kegiatan sebagai penelitian?
- Apa yang membedakan penyelidikan yang dapat dipertahankan dari penyelidikan yang hanya sistematis?
- Dalam kasus Anda sendiri, apa yang belum diketahui dan apa yang belum dapat dilakukan?
- Pernyataan mana pada kasus Anda yang saat ini paling menyerupai ketiadaan lokal, bukan kesenjangan penelitian?

G. Jembatan ke Modul Berikutnya

Modul 1 berhenti pada diagnosis: Anda telah membedakan kegiatan teknis, proyek, dan penelitian, serta memisahkan kesenjangan pengetahuan dari kesenjangan kapabilitas. Modul 2 melanjutkannya dengan mempertanyakan jenis penyelidikan apa yang sedang Anda lakukan, logika metodologis apa yang menopangnya, dan apa yang sesungguhnya menjadi kontribusi. Bawalah rumusan kesenjangan dan hasil klasifikasi Anda ke Modul 2.

MODUL 2 - Orientasi Penyelidikan, Metodologi, dan Kontribusi

A. Kemampuan Akhir

Setelah menyelesaikan modul ini, Anda seharusnya mampu:

1. mengklasifikasikan suatu penyelidikan sebagai ilmiah, keteknikan, atau hibrida pada tingkat pengantar;
2. menjelaskan perbedaan antara metode dan metodologi serta mengenali desain yang mengutamakan metode;
3. membedakan artefak, luaran, dan kontribusi;
4. membedakan keadaan mungkin, diusulkan, diimplementasikan, didemonstrasikan, divalidasi, dan maju.

B. Tujuan Pembelajaran

Modul ini mengarahkan pembaca dari pertanyaan apakah suatu kegiatan merupakan penelitian menuju pertanyaan penelitian macam apa yang sedang dikerjakan. Tujuannya adalah agar pembaca dapat menyatakan jenis klaim yang dituju, logika metodologis yang menghubungkan masalah dengan bukti, serta batas antara artefak yang dibangun dan kontribusi yang dapat dipertahankan.

C. Uraian Materi

5. Penyelidikan Ilmiah, Keteknikan, dan Hibrida

Kata ilmiah dan keteknikan kadang digunakan sebagai label bagi departemen, metode, atau profesi. Dalam desain penelitian, pembedaan yang lebih berguna menyangkut pertanyaan utama, klaim yang dituju, dan logika bukti.

Penyelidikan ilmiah terutama mencari deskripsi, penjelasan, prediksi, atau pemahaman fenomena yang dapat dipertahankan. Penyelidikan tersebut dapat menanyakan apa yang terjadi, bagaimana variabel saling berhubungan, mengapa suatu kegagalan berkembang, atau apakah model yang diusulkan menjelaskan pengamatan secara memadai.

Penyelidikan keteknikan terutama mencari pengetahuan yang dapat dipertahankan mengenai penciptaan, perbaikan, pemilihan, atau validasi suatu kapabilitas di bawah persyaratan dan kendala. Penyelidikan tersebut dapat menanyakan apakah suatu artefak dapat mencapai suatu fungsi, desain mana yang berkinerja lebih baik, bagaimana suatu pertukaran (trade-off) dapat diperbaiki, atau apakah suatu kapabilitas tetap layak untuk penggunaan yang dituju.

Penyelidikan hibrida secara sengaja menggabungkan kedua tujuan tersebut. Penjelasan membatasi desain, atau intervensi desain menciptakan bukti yang diperlukan untuk memperbaiki penjelasan.

Oleh karena itu, keteknikan dan sains tidak identik, tetapi juga tidak tertutup satu terhadap yang lain. Keteknikan umumnya bekerja dengan persyaratan, kendala, alternatif, model, prototipe, simulasi, pengujian, dan tanggung jawab atas konsekuensi. Pekerjaan ilmiah dapat menuntut instrumen dan

sistem komputasi hasil rekayasa. Insinyur dapat menjumpai fenomena yang belum terjelaskan saat mengembangkan teknologi, dan ilmuwan dapat membangun artefak agar pengamatan menjadi mungkin. Tumpang tindih tersebut bersifat substantif, bukan hal yang memalukan (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 48-50).

Satu kasus, tiga kemungkinan penyelidikan

Kasus pemeliharaan prediktif tersebut dapat menopang tiga studi yang berbeda.

Orientasi ilmiah:

Perubahan sinyal terukur mana yang mendahului keadaan kegagalan bantalan yang dilabeli, dan bagaimana perubahan tersebut berhubungan dengan proses degradasi fisis pada kondisi operasi yang diteliti?

Kemajuan yang dituju terutama berupa pemahaman atau penjelasan. Bukti perlu menjawab penjelasan alternatif dan hubungan antara sinyal terukur dengan proses fisis. Skor prediktif semata tidak akan memadai.

Orientasi keteknikan:

Dapatkan suatu sistem prediktif memberikan peringatan yang memenuhi persyaratan deteksi, horizon peringatan, dan alarm palsu yang ditentukan pada kondisi operasi terpilih, relatif terhadap aturan pemeliharaan yang berlaku?

Kemajuan yang dituju terutama berupa kapabilitas yang didemonstrasikan dan akhirnya divalidasi. Bukti akan mencakup kinerja terhadap persyaratan dan garis dasar yang relevan pada kondisi yang dinyatakan.

Orientasi hibrida:

Hubungan antarsinyal yang sensitif terhadap degradasi mana yang tetap stabil di berbagai rezim operasi, dan dapatkan sistem prediktif yang menggunakan hubungan tersebut memenuhi persyaratan keputusan pemeliharaan yang ditentukan?

Di sini, cabang penjelasan dan cabang desain saling membatasi. Studi tersebut bersifat hibrida bukan semata karena menggunakan beberapa metode, melainkan karena mengejar klaim pengetahuan dan klaim kapabilitas yang saling terkait.

Klasifikasi bukanlah label metode

Studi kuantitatif tidak otomatis bersifat ilmiah alih-alih keteknikan. Penyelidikan kualitatif tentang bagaimana operator menafsirkan peringatan sistem otonom dapat menginformasikan desain dan validasi sistem yang aman. Simulasi dapat menyelidiki penjelasan fisis, mengevaluasi suatu artefak, atau keduanya. Prototipe dapat menjadi instrumen bagi pengamatan ilmiah atau menjadi objek evaluasi keteknikan.

Rangkaian yang relevan adalah:

masalah -> pengetahuan atau kapabilitas yang dituju -> bukti yang diperlukan ->
logika metodologis -> metode

bukan:

metode -> identitas penelitian

Paradigma dan metode penelitian tidak boleh direduksi menjadi persamaan sederhana seperti “kuantitatif berarti positivistik” atau “kualitatif berarti interpretif”. Paradigma adalah posisi filosofis; kuantitatif dan kualitatif menggambarkan karakteristik data dan metode. Pertanyaan penelitian, asumsi, metodologi, dan metode harus dibuat koheren, bukan disimpulkan dari satu alat (Paradigma Penelitian, subbagian 4.5 dan 8).

Batas klasifikasi pengantar

Proyek nyata dapat bersifat ambigu. Suatu studi dapat berganti orientasi ketika masalahnya menjadi lebih jelas. Suatu program penelitian dapat memuat paket kerja ilmiah dan keteknikan yang terpisah. Label-label tersebut tidak menentukan jenis mana yang lebih unggul, dan tidak menggantikan analisis filosofis yang utuh. Modul 2 akan mengembangkan perbedaan ini dan membahas kasus-kasus batas yang sulit.

Untuk modul ini, gunakan aturan yang sederhana: klasifikasikan penyelidikan berdasarkan jenis klaim yang terutama dicarinya dan bukti yang diperlukan untuk membenarkan klaim tersebut. Jika penyelidikan mencari sekaligus pemahaman penjelasan dan kapabilitas yang terevaluasi, nyatakan bagaimana keduanya saling bergantung.

6. Metode dan Metodologi

Setelah kesenjangan dinamai dan penyelidikan yang dituju diklasifikasikan, metode dapat dipilih secara lebih cerdas. Urutannya penting karena jika tidak, alat yang sudah dikenal dapat mengambil kendali atas proyek.

Metode adalah apa yang dilakukan peneliti: melaksanakan eksperimen, menjalankan simulasi, melatih model, mewawancarai operator, menganalisis catatan kegagalan, membangun prototipe, membuktikan suatu sifat, atau membandingkan desain.

Metodologi adalah logika beralasan yang menghubungkan masalah dan klaim yang dituju dengan strategi penyelidikan, bukti yang diperlukan, metode, asumsi, dan kriteria justifikasi. Metodologi menjelaskan bukan hanya bagaimana suatu teknik digunakan, tetapi juga mengapa teknik itu sesuai, apa yang dapat diungkapkannya, apa yang tidak dapat ditegakkannya, dan mengapa alternatifnya tidak dipilih. Keputusan penelitian harus dipaparkan untuk dievaluasi, bukan disembunyikan di balik teknik (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 11).

Diagnostik: Desain yang mengutamakan metode

Pertanyaan kritis. Mengapa metode yang dipilih dapat menghasilkan bukti bagi klaim yang dituju?

Penalaran yang tampak masuk akal tetapi keliru.

“Saya akan menggunakan jaringan saraf dalam karena metode itu mutakhir dan telah berhasil dalam studi-studi lain.”

Mengapa penalaran itu gagal. Reputasi metode tidak menegakkan kesesuaian. Pernyataan tersebut tidak menyebutkan keputusan pemeliharaan, proses penghasil data, perbandingan, kebutuhan keterjelasan, keterbatasan sampel, kondisi operasi, ataupun jenis klaim. Metode yang lebih kompleks dapat menambah biaya dan kekaburan tanpa mengurangi kesenjangan yang berkonsekuensi.

Suatu formulasi yang dapat dipertahankan.

“Studi ini menuntut model yang dapat menggunakan pengamatan sensor berurutan untuk menerbitkan peringatan dalam horizon yang dinyatakan. Metode-metode kandidat akan dibandingkan terhadap aturan pemeliharaan yang berlaku dan garis dasar statistik sederhana dengan menggunakan ukuran kinerja yang relevan bagi keputusan pada kondisi operasi yang ditentukan.”

Mengapa formulasi itu dapat dipertahankan. Penyelidikan dimulai dari kapabilitas dan bukti yang diperlukan. Hal itu memungkinkan pemilihan metode tetap bersifat komparatif, bukan ditentukan sejak awal.

Batas klaim. Bahkan kandidat dengan kinerja terbaik dalam evaluasi ini hanya akan mendukung penggunaan prediktif yang telah didefinisikan pada kondisi yang diuji. Hal itu dengan sendirinya tidak akan menjelaskan mekanisme fisis kegagalan atau menegakkan kelayakannya bagi fasilitas lain.

Pelajaran umum. Kesesuaian metodologis bersifat relatif terhadap klaim: pilihlah metode setelah memperjelas apa yang harus dipelajari, didemonstrasikan, atau diputuskan.

Kasus batas. Pekerjaan eksploratif dapat dimulai dari kumpulan data atau alat yang tersedia. Pekerjaan itu tetap dapat menjadi penelitian, tetapi klaim akhirnya harus disusun ulang dari apa yang benar-benar dapat didukung oleh eksplorasi tersebut, bukan dari apa yang diharapkan dibuktikan oleh peneliti.

Uji metodologi

Sebelum memutuskan suatu metode, tuliskan jawaban sementara atas enam pertanyaan berikut:

1. Masalah dan kesenjangan tak terselesaikan apa yang ditangani oleh studi ini?
2. Jenis klaim apa yang dituju: deskriptif, prediktif, eksplanatif, desain, evaluatif, atau hibrida?
3. Bukti apa yang akan mendukung atau menantang klaim tersebut?
4. Representasi sistem seperti apa yang akan diciptakan atau digunakan oleh metode tersebut?
5. Asumsi dan kondisi apa yang membatasi inferensinya?

6. Perbandingan apa yang membuat luaran tersebut dapat ditafsirkan?

Jika suatu metode tidak dapat dibenarkan melalui pertanyaan-pertanyaan tersebut, beralih ke metode yang lebih populer tidak akan memperbaiki desainnya. Bagian-bagian berikutnya akan menunjukkan mengapa disiplin yang sama berlaku bagi artefak, skor kinerja, dan klaim kontribusi.

7. Artefak, Luaran, dan Kontribusi

Keteknikan menghasilkan berbagai hal: prototipe, algoritma, model, kumpulan data, rig pengujian, material, proses, strategi kendali, standar, dan prosedur operasi. Luaran-luaran tersebut dapat mewujudkan kecerdikan yang besar. Namun, artefak tidak otomatis merupakan kontribusi penelitian.

Contoh prototipe numerik, sensor, jembatan, dan pemeliharaan prediktif dalam paket bahan ini tetap merupakan kasus pengajaran hipotetis. Contoh-contoh tersebut mengilustrasikan keputusan penelitian; contoh itu tidak melaporkan studi yang telah selesai.

Artefak, minimalnya, menjawab pertanyaan “Apa yang dibuat?” Kontribusi penelitian juga harus menjawab “Apa yang telah dipelajari atau dimungkinkan, relatif terhadap apa yang sudah ada, dan mengapa klaim tersebut layak diterima?”

Perbedaan tersebut dapat dilihat sebagai suatu urutan:

luaran artefak
-> demonstrasi kelayakan
-> kinerja yang terevaluasi
-> pengetahuan desain atau kapabilitas terbatas
-> kemajuan yang mungkin

Setiap anak panah menuntut penalaran dan bukti. Prototipe membuktikan bahwa satu instans telah dibangun. Prototipe juga dapat menunjukkan bahwa suatu gagasan layak secara fisis. Prototipe tidak otomatis menegaskan bahwa desain tersebut memenuhi persyaratannya, lebih baik daripada alternatifnya, tetap tegar di bawah variasi yang relevan, atau dapat dialihkan ke tatanan lain.

Diagnostik 2: Membangun suatu artefak

Pertanyaan kritis. Pengetahuan atau kapabilitas tervalidasi apa yang mengikuti dari pembangunan prototipe tersebut?

Penalaran yang tampak masuk akal tetapi keliru.

“Saya membangun prototipe baru; oleh karena itu, prototipe tersebut merupakan kontribusi penelitian.”

Mengapa penalaran itu gagal. Pembangunan menegaskan adanya suatu luaran. Pembangunan itu, dengan sendirinya, tidak menegaskan kelayakan terhadap kriteria eksplisit, keunggulan atas alternatif,

suatu mekanisme, kelayakan bagi penggunaan yang dituju, ataupun pengetahuan desain yang dapat dialihkan. Menyebut objek tersebut “baru” juga tidak menunjukkan mengapa perbedaannya penting.

Suatu formulasi yang dapat dipertahankan.

“Prototipe tersebut mendemonstrasikan regulasi termal loop tertutup dalam $\pm 2^{\circ}\text{C}$ pada rentang beban kalor yang ditentukan dan mengungguli pengendali yang ada pada waktu penetapan (settling time), sementara ketegaran di luar rentang tersebut masih belum diuji.”

Mengapa formulasi itu dapat dipertahankan. Pernyataan tersebut mengidentifikasi artefak, kriteria kinerja, perbandingan, kondisi, dan batas yang belum terselesaikan. Pernyataan itu memungkinkan pembaca membedakan apa yang dibangun dari apa yang didemonstrasikan.

Batas klaim. Demonstrasi laboratorium bukanlah validasi dalam lingkungan penerapan yang dituju. Keandalan jangka panjang, variasi manufaktur, pemeliharaan, dan kinerja di bawah beban yang belum diuji tetap terbuka.

Pelajaran umum. Kontribusi bukanlah artefak semata; kontribusi adalah kemajuan pengetahuan atau kapabilitas yang dapat dipertahankan yang ditegakkan melalui artefak tersebut dan evaluasinya.

Kasus batas. Artefak yang benar-benar baru dapat menjadi penting secara historis dengan sendirinya. Bahkan dalam hal itu, penelitian harus mengartikulasikan apa yang ditegakkan oleh artefak tersebut dan atas bukti apa, bukan bersandar pada kebaruan sebagai justifikasi diri.

Disiplin yang sama berlaku bagi artefak nonfisis. Kode yang berjalan adalah kode yang terimplementasi, bukan kapabilitas yang tervalidasi. Kumpulan data adalah luaran yang nilai penelitiannya bergantung pada asal-usul, representasi, mutu, dan pertanyaan yang dapat ditopangnya. Model adalah representasi yang kememadaianya harus dinilai relatif terhadap klaim yang dituju. Sistem keteknikan otonom yang menyelesaikan satu demonstrasi belum karena itu terbukti aman atau layak bagi setiap lingkungan yang dituju.

8. Dari Potensialitas ke Aktualitas yang Terdemonstrasi

Penelitian dimotivasi oleh apa yang mungkin menjadi dapat dicapai. Material baru mungkin dapat mengurangi massa. Strategi kendali mungkin dapat memperbaiki stabilitas termal. Model prediktif mungkin dapat memberikan peringatan lebih dini. Representasi alternatif mungkin dapat menyingkap perilaku yang disembunyikan oleh model yang ada.

Kata “mungkin” ini penting. Kata itu mengidentifikasi potensialitas: pengetahuan, makna, keadaan, atau kapabilitas yang dapat dikembangkan tetapi belum didemonstrasikan. Potensialitas dapat membenarkan perhatian, imajinasi, penyelidikan, dan upaya perancangan. Potensialitas tidak dapat menggantikan hasil-hasilnya.

Dalam buku ini, gunakan enam label keadaan kerja berikut untuk mengendalikan peralihan tersebut:

mungkin != diusulkan != diimplementasikan != didemonstrasikan != divalidasi != maju

Mungkin berarti bahwa suatu gagasan atau kapabilitas dapat dibayangkan sebagai sesuatu yang bernilai. Diusulkan berarti bahwa hal itu telah dispesifikasikan sebagai penyelidikan, desain, atau mekanisme yang dituju. Diimplementasikan berarti bahwa hal itu telah diwujudkan dalam suatu model, argumen, proses, basis kode, atau artefak fisis. Didemonstrasikan berarti bahwa instans tersebut telah memenuhi kriteria yang dinyatakan pada kondisi uji yang teramati. Divalidasi berarti bahwa bukti mendukung kelayakannya bagi penggunaan, populasi, lingkungan, dan keputusan yang dituju. Maju berarti bahwa pekerjaan tersebut menegakkan perubahan yang dapat dipertahankan pada pengetahuan atau kapabilitas yang dapat dialihkan, relatif terhadap suatu perbandingan yang relevan.

Urutan tersebut bukan klaim bahwa semua penelitian harus menciptakan artefak fisis. Hasil teoretis dapat bergerak dari konjektur menjadi pembuktian yang terdemonstrasi dan kemajuan. Wawasan interpretatif dapat bergerak dari pemahaman potensial menjadi interpretasi yang terargumentasikan dan terjustifikasi secara evidensial. Yang tetap konstan adalah penolakan untuk memperlakukan niat sebagai pencapaian.

Diagnostik 6: Kontribusi potensial

Pertanyaan kritis. Kapan suatu gagasan yang menjanjikan menjadi sebuah kontribusi?

Penalaran yang tampak masuk akal tetapi keliru.

“Gagasan ini memiliki potensi besar; oleh karena itu, gagasan ini merupakan kontribusi penelitian yang penting.”

Mengapa penalaran itu gagal. Nilai potensial memberikan alasan untuk menyelidiki. Nilai itu tidak menyediakan representasi yang terimplementasi, perbandingan, demonstrasi, validasi, ataupun bukti kemajuan.

Suatu formulasi yang dapat dipertahankan.

“Gagasan yang diusulkan mungkin dapat memperbaiki kendali termal terlokalisasi. Penelitian diperlukan untuk menentukan apakah potensi ini dapat didemonstrasikan relatif terhadap garis dasar yang ada dan pada kondisi operasi yang ditentukan.”

Mengapa formulasi itu dapat dipertahankan. Klaimnya tetap bersifat prospektif dan mengidentifikasi perbandingan serta kondisi yang diperlukan untuk menguji peralihan tersebut.

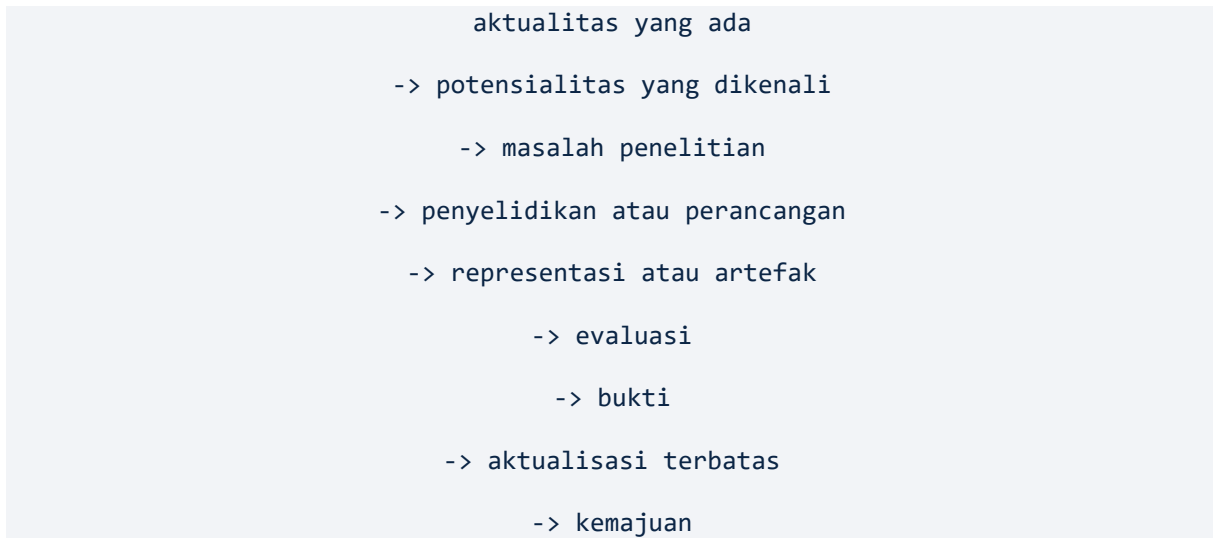
Batas klaim. Bahkan demonstrasi yang berhasil tidak akan otomatis menegakkan validasi umum, keandalan jangka panjang, atau keteralihan ke sistem lain.

Pelajaran umum. Kontribusi potensial bukanlah kontribusi yang terdemonstrasi.

Kasus batas. Kontribusi konseptual tidak menuntut prototipe fisis, tetapi tetap menuntut argumen yang dapat dipertahankan, perbandingan dengan pemahaman yang ada, dan penjelasan yang jernih mengenai apa yang menjadi dapat dipahami secara baru.

Peta potensialitas-aktualitas yang praktis

Urutan penelitian yang praktis adalah:



Untuk contoh kendali termal, aktualitas yang ada dapat berupa pengendali yang tidak mampu mempertahankan pita suhu yang dibutuhkan selama profil beban kalor variabel yang ditentukan. Potensialitas yang dikenali adalah kapabilitas kendali yang lebih terlokalisasi. Prototipe mengaktualkan gagasan desain secara fisis, tetapi hanya dalam pengertian implementasi. Evaluasi terhadap pengendali yang ada dapat mendemonstrasikan kinerja yang terbatas. Validasi bagi penggunaan yang dituju menuntut kondisi tambahan, dan kemajuan menuntut penjelasan mengenai apa yang kini dimungkinkan untuk dipahami atau dilakukan oleh insinyur berdasarkan bukti yang terdemonstrasi.

Pratinjau filosofis: makna potensialitas yang lebih kuat

Potensialitas juga dapat digunakan dalam pengertian filosofis yang jauh lebih kuat. Federico Faggin mengembangkan penjelasan metafisis yang di dalamnya Yang Satu adalah keseluruhan dari apa yang ada, baik dalam potensialitas maupun aktualitas, dan tindakan mengetahui turut serta dalam membawa apa yang potensial ke dalam keberadaan yang aktual. Ia juga menghubungkan kreativitas dengan penginderaan dan pengungkapan potensi suatu gagasan secara progresif melalui pengembangan bersama makna dan simbol (Irreducible, PDF hlm. 16, 173, 241, 284).

Ini merupakan posisi filosofis dan metafisis yang khas penulis tersebut. Posisi ini bukan hasil keteknikan yang telah baku, dan urutan penelitian praktis di atas tidak membuktikannya maupun bergantung pada penerimaannya. Posisi tersebut akan direkonstruksi dan diperiksa secara kritis pada modul lanjutan tentang potensialitas. Di sini, posisi itu menjalankan fungsi yang terbatas saja: mengingatkan kita bahwa perancangan dimulai dari kemungkinan-kemungkinan yang belum

terungkap sepenuhnya, sementara disiplin penelitian menanyakan apa yang sebenarnya telah direpresentasikan, dievaluasi, dan dijustifikasi.

D. Bahan dan Sumber Belajar

Bahan dan sumber belajar berikut digunakan pada modul ini:

- uraian materi bagian 5 sampai 8 pada modul ini;
- satu usulan metode atau artefak dari kasus pembaca sendiri, beserta alasan pemilihannya;
- daftar klaim yang saat ini ingin dinyatakan pembaca atas kasus tersebut;
- tabel keadaan potensialitas-aktualitas sebagai lembar bantu.

E. Aktivitas Belajar

Kerjakan aktivitas berikut menggunakan kasus Anda sendiri.

- Aktivitas 2.1 - Tiga penyelidikan dari satu kasus: rumuskan satu versi ilmiah, satu versi keteknikan, dan satu versi hibrida dari kasus Anda.
- Aktivitas 2.2 - Uji metodologi: tuliskan rantai masalah, klaim yang dituju, bukti yang diperlukan, logika metodologis, lalu metode; periksa apakah metode Anda dipilih sebelum atau sesudah klaim.
- Aktivitas 2.3 - Pemisahan artefak dan kontribusi: sebutkan artefak yang akan Anda bangun, luaran yang akan dihasilkan, dan kemajuan yang mungkin diklaim.
- Aktivitas 2.4 - Peta keadaan: tandai posisi kasus Anda pada keadaan mungkin, diusulkan, diimplementasikan, didemonstrasikan, divalidasi, atau maju.

F. Latihan dan Refleksi

- Apa perbedaan operasional antara metode dan metodologi pada kasus Anda?
- Mengapa klasifikasi ilmiah, keteknikan, atau hibrida tidak dapat ditentukan dari jenis data atau alat yang dipakai?
- Artefak apa yang telah Anda bangun, dan pengetahuan tervalidasi apa yang mengikutinya?
- Keadaan mana yang paling menggoda Anda untuk diklaim lebih awal daripada yang didukung bukti?

G. Jembatan ke Modul Berikutnya

Modul 2 menetapkan jenis penyelidikan, logika metodologis, dan batas antara artefak dan kontribusi. Modul 3 menguji dasar dari klaim itu: bagaimana data menjadi bukti, bagaimana representasi membatasi cakupan klaim, dan bagaimana luaran dibedakan dari kemajuan. Bawalah daftar klaim yang dituju dan peta keadaan Anda ke Modul 3.

MODUL 3 - Bukti, Representasi, dan Klaim yang Terbatas

A. Kemampuan Akhir

Setelah menyelesaikan modul ini, Anda seharusnya mampu:

1. memisahkan data, bukti, luaran, penjelasan, makna keteknikan, dan kemajuan;
2. menguji apakah suatu klaim tetap memadai terhadap representasi dan kondisinya;
3. merevisi klaim keteknikan yang berlebihan menjadi klaim yang terbatas;
4. menggunakan PICOAJ untuk mendiagnosis struktur suatu penyelidikan keteknikan sederhana.

B. Tujuan Pembelajaran

Modul ini melatih kedisiplinan dalam menyatakan klaim. Pembaca diarahkan untuk memeriksa apa yang benar-benar didukung oleh data, kondisi dan representasi mana yang membatasi klaim tersebut, serta bagaimana membedakan luaran yang diperoleh dari kemajuan yang dapat dipertahankan.

C. Uraian Materi

9. Data Tidak Menjadi Bukti dengan Sendirinya

Model kegagalan bantalan tersebut menghasilkan prediksi. Kumpulan data uji menghasilkan label dan skor. Sensor suhu menghasilkan bacaan. Simulasi menghasilkan medan, trajektori, atau estimasi. Semua itu belum merupakan bukti yang menafsirkan dirinya sendiri.

Gunakan hubungan minimum berikut:

Data + Pertanyaan Penelitian + Logika Analitis -> Bukti

Data adalah pengamatan, pengukuran, jejak, keterangan, dokumen, atau luaran model yang terekam. Bukti adalah data yang dibuat relevan bagi suatu klaim melalui warrant analitis dan kendali mutu. Data yang sama dapat menjadi bukti bagi satu klaim, tidak relevan bagi klaim lain, dan menyesatkan bagi klaim yang ketiga.

Misalkan sensor suhu industri melaporkan 85°C. Bacaan tersebut tidak menegaskan bahwa “suhu mesin adalah 85°C”. Bacaan itu adalah pengukuran pada suatu lokasi, dengan jenis sensor, keadaan kalibrasi, waktu respons, kondisi kontak, prosedur pencuplikan, dan konteks operasi tertentu. Pernyataan yang dapat dipertahankan lebih sempit:

“Sensor yang terkonfigurasi mengukur 85°C pada lokasi dan waktu pencuplikan yang ditentukan di bawah kondisi operasi yang terekam.”

Apakah datum tersebut mendukung klaim tentang suhu puncak komponen, keselamatan termal, respons pengendali, atau distribusi kalor pada seluruh sistem bergantung pada pertanyaan penelitian dan representasinya.

Pengamatan tidak pernah sepenuhnya netral. Apa yang diamati peneliti dibentuk oleh konsep terdahulu, harapan teoretis, instrumen, pengalaman, dan pilihan mengenai apa yang layak mendapat perhatian. Hal ini tidak membuat bukti menjadi mustahil; hal ini menjadikan kondisi pengamatan sebagai bagian dari apa yang harus diperiksa. Klaim ilmiah tetap terbuka bagi revisi ketika bukti baru mengubah dukungannya (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 28-30).

Diagnostik 3: Melaporkan kinerja

Pertanyaan kritis. Apa yang boleh diklaim oleh peneliti berdasarkan akurasi 94 persen?

Penalaran yang tampak masuk akal tetapi keliru.

“Model tersebut mencapai akurasi 94%; oleh karena itu, model tersebut menjelaskan kegagalan bantalan.”

Mengapa penalaran itu gagal. Akurasi adalah hasil kinerja prediktif. Akurasi tidak mengidentifikasi mekanisme kausal fisis. Tanpa informasi lebih lanjut, akurasi juga dapat menyembunyikan prevalensi label kegagalan, biaya dari berbagai jenis kesalahan, kebocoran antara data pelatihan dan data uji, garis dasar yang lemah, atau kinerja yang buruk ketika kondisi operasi berubah.

Suatu formulasi yang dapat dipertahankan.

“Pada kumpulan data tertahan yang diambil dari rezim operasi yang dinyatakan, model memprediksi keadaan kegagalan yang dilabeli dengan akurasi 94% dan melampaui garis dasar yang disebutkan; klaim mekanisme kausal tidak dievaluasi.”

Mengapa formulasi itu dapat dipertahankan. Pernyataan tersebut mengidentifikasi data yang direpresentasikan, rezim operasi, luaran, perbandingan, dan jenis klaim. Pernyataan itu juga menyatakan apa yang tidak diuji oleh penyelidikan tersebut.

Batas klaim. Hasil tersebut tidak menegaskan kinerja pada populasi mesin lain, pada waktu mendatang, dengan konfigurasi sensor lain, atau pada kondisi operasi yang tidak hadir dalam evaluasi.

Pelajaran umum. Prediksi bukanlah penjelasan kausal.

Prinsip keselarasan yang lebih luas adalah bahwa klaim kausal menuntut desain yang mampu mendukung lebih dari sekadar asosiasi; jika tidak, klaim tersebut melampaui buktinya (Paradigma Penelitian, subbagian 9).

Kasus batas. Model prediktif dapat memunculkan hipotesis tentang mekanisme. Hipotesis tersebut menjadi klaim eksplanatif hanya melalui penyelidikan yang dirancang untuk menguji mekanisme dan alternatif yang kredibel.

Dari skor menjadi bukti

Untuk memutuskan apakah skor 94 persen tersebut merupakan bukti bagi suatu kapabilitas pemeliharaan, tanyakan:

- Bagaimana label target didefinisikan, dan dengan galat sebesar apa?
- Berapa frekuensi relatif kasus kegagalan dan kasus bukan kegagalan?
- Pengamatan pelatihan, validasi, dan pengujian mana yang berbagi mesin, jendela waktu, atau riwayat operasi yang sama?
- Metrik mana yang bersesuaian dengan keputusan pemeliharaan?
- Horizon peringatan seperti apa yang dibutuhkan?
- Apa konsekuensi dari kegagalan yang terlewat dan alarm palsu?
- Garis dasar mana yang mewakili praktik saat ini atau alternatif yang lebih sederhana?
- Seberapa tidak pasti estimasi tersebut?
- Kondisi operasi mana yang direpresentasikan?
- Kasus kegagalan apa yang berlawanan dengan pola umumnya?

Jawaban atas pertanyaan-pertanyaan tersebut tidak sekadar menambah detail metodologis. Jawaban itu membangun warrant yang memungkinkan data berfungsi sebagai bukti bagi suatu klaim terbatas.

10. Representasi, Kondisi, dan Klaim Terbatas

Setiap penyelidikan keteknikan bekerja melalui suatu representasi. Model elemen hingga merepresentasikan geometri, perilaku material, beban, dan kondisi batas yang dipilih. Rig pengujian merepresentasikan aspek-aspek lingkungan operasi. Kumpulan data merepresentasikan suatu populasi melalui variabel yang terekam dan keputusan pencuplikan. Prototipe merepresentasikan konsep desain pada skala dan tingkat kematangan tertentu. Bahkan deskripsi kasus secara verbal merepresentasikan sebagian aspek situasi sekaligus mengabaikan aspek lainnya.

Representasi diperlukan karena keseluruhan realitas tidak dapat direproduksi dalam suatu analisis. Pertanyaan penelitiannya bukan apakah suatu representasi lengkap, melainkan apakah representasi itu memadai bagi klaim dan kondisi yang dipersoalkan.

Gunakan uji kememadain berikut:

$$\text{Representasi} \leftrightarrow \text{Klaim} \leftrightarrow \text{Kondisi}$$

dan aturan cakupan:

$$\text{Cakupan_klaim} \leq \text{Cakupan_bukti/representasi}$$

Model yang lebih kompleks tidak otomatis lebih baik. Representasi sederhana dapat memadai bagi klaim yang sempit. Model yang sangat rinci dapat tidak memadai jika ia mengabaikan faktor yang menentukan bagi klaim yang dituju. Pembuktian formal dan konsistensi matematis juga tidak menghapus masalah ini. Model suatu artefak dapat ketat secara internal sekaligus mengabaikan aspek-aspek kritis dari lingkungan tempat artefak itu akan beroperasi (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 98). Simulasi dan analisis teoretis selalu bersandar pada abstraksi yang implikasinya harus dihubungkan kembali dengan penggunaan yang dituju (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 100-101).

Diagnostik 4: Perluasan klaim

Pertanyaan kritis. Apakah representasi elemen hingga tersebut mendukung klaim keselamatan jembatan?

Penalaran yang tampak masuk akal tetapi keliru.

“Simulasi menunjukkan tegangan di bawah batas yang diizinkan; oleh karena itu, jembatan tersebut aman.”

Mengapa penalaran itu gagal. Model tersebut mungkin hanya mencakup geometri, asumsi material, kondisi batas, dan kasus pembebanan statis yang dipilih. Model itu mungkin mengabaikan penurunan mutu, kelelahan material, perilaku sambungan, ketidakpastian, aksi lingkungan, penyimpangan konstruksi, perilaku fondasi, atau moda lain yang relevan bagi keselamatan. Kesimpulannya meluas melampaui representasinya.

Suatu formulasi yang dapat dipertahankan.

“Untuk geometri yang direpresentasikan, asumsi material, kondisi batas, dan kasus pembebanan statis yang ditentukan, tegangan terhitung tetap berada di bawah kriteria tegangan izin yang dipilih.”

Mengapa formulasi itu dapat dipertahankan. Subjek dan kondisi klaim tersebut sesuai dengan apa yang direpresentasikan dan dievaluasi oleh simulasi.

Batas klaim. Tidak ada kesimpulan umum yang mengikuti mengenai keselamatan jembatan secara keseluruhan, kelayakan, umur kelelahan, kepatuhan terhadap standar, atau sertifikasi.

Pelajaran umum. Cakupan suatu klaim tidak boleh melampaui cakupan bukti dan representasinya.

Kasus batas. Klaim keselamatan dapat dipertahankan, tetapi klaim itu menuntut argumen keselamatan yang terdefinisi dan mengintegrasikan bahaya, persyaratan, analisis, inspeksi, ketidakpastian, dan bukti yang relevan. Klaim itu tidak dapat dihasilkan dengan memperkuat rumusan kata dari satu hasil simulasi.

Menyusun klaim yang terbatas

Klaim keteknikan yang terbatas seharusnya menjawab lima pertanyaan:

1. Entitas atau hubungan apa yang diklaim?
2. Untuk populasi, sistem, artefak, atau representasi yang mana?
3. Relatif terhadap garis dasar, alternatif, atau kriteria yang mana?
4. Pada kondisi yang mana?
5. Dengan bukti apa dan ketidakpastian apa yang tersisa?

Bandingkan:

“Model tersebut memprediksi kegagalan bantalan secara akurat.”

dengan:

“Untuk populasi mesin, konfigurasi sensor, definisi label, dan rentang operasi yang dievaluasi, model tersebut memperbaiki metrik peringatan yang dinyatakan relatif terhadap aturan pemeliharaan yang berlaku; kinerja di luar kondisi tersebut masih belum diuji.”

Klaim kedua mungkin tampak kurang mengesankan. Klaim itu lebih kuat secara ilmiah maupun keteknikan karena pembaca dapat mengidentifikasi apa yang ditegakkan dan di mana batasnya berada. Penelitian yang baik membatasi kesimpulan pada apa yang dapat dijustifikasi secara memadai oleh data yang tersedia (Engineering Research Methodology, PDF hlm. 18).

11. Luaran Bukanlah Kemajuan

Laporan penelitian sering bergerak terlalu cepat dari suatu hasil ke suatu kontribusi. Suhu turun 13°C. Akurasi meningkat lima poin persentase. Simulasi konvergen. Prototipe beroperasi. Semua itu mungkin merupakan luaran yang penting, tetapi kepentingannya harus diargumentasikan.

Pisahkan langkah-langkah berikut:

data -> bukti -> temuan/hasil -> luaran -> penjelasan -> makna keteknikan -> kemajuan

Hasil adalah pengamatan yang telah dianalisis, misalnya selisih suhu terukur. Luaran adalah apa yang secara langsung ditemukan atau dihasilkan oleh penyelidikan. Penjelasan mengidentifikasi mekanisme atau keterangan yang dapat dipertahankan dan menjawab alternatifnya. Makna keteknikan menyatakan mengapa hasil tersebut penting bagi persyaratan, kendala, risiko, pertukaran, atau keputusan. Kemajuan menyatakan apa yang kini dapat dipahami atau dilakukan yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan secara dapat dipertahankan.

Pembedaan antara luaran dan kemajuan bersifat sentral dalam mengidentifikasi kontribusi: luaran menanyakan apa yang ditemukan; kemajuan menanyakan bagaimana temuan tersebut mengubah pengetahuan atau praktik (Paradigma Penelitian, subbagian 6.4–6.6).

Diagnostik 5: Luaran dan kemajuan

Pertanyaan kritis. Apa yang membuat penurunan 13°C bermakna sebagai penelitian?

Penalaran yang tampak masuk akal tetapi keliru.

“Suhu menurun 13°C; oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi yang penting.”

Mengapa penalaran itu gagal. Pernyataan tersebut mengabaikan garis dasar, ketidakpastian pengukuran, kondisi operasi, persyaratan suhu, biaya energi, kemungkinan efek samping, mekanisme, dan konsekuensi praktisnya. Kata “penting” dinyatakan, bukan didemonstrasikan.

Suatu formulasi yang dapat dipertahankan.

“Relatif terhadap pengendali yang ada, prototipe menurunkan suhu puncak komponen sebesar 13°C pada profil beban kalor yang ditentukan tanpa melampaui batas energi yang dinyatakan; hasil tersebut mendemonstrasikan perbaikan terbatas pada kendali termal terlokalisasi.”

Mengapa formulasi itu dapat dipertahankan. Luaran tersebut dihubungkan dengan suatu perbandingan, kendala, makna kinerja, dan kapabilitas yang terbatas.

Batas klaim. Hasil tersebut belum menegakkan keandalan jangka panjang, kinerja di lapangan, keterulangan manufaktur, atau keefektifan di luar profil beban yang diuji.

Pelajaran umum. Suatu hasil menjadi kemajuan hanya melalui jembatan yang dapat dipertahankan dari bukti ke konsekuensi, dan dari konsekuensi ke apa yang menjadi dapat dipahami atau dapat dilakukan secara baru.

Kasus batas. Perubahan suhu yang lebih kecil dapat lebih penting jika ia melintasi ambang yang berkonsekuensi, sementara perubahan yang lebih besar dapat tidak relevan jika ia tidak memperbaiki keputusan yang dituju atau melanggar kendala lain.

Luaran dan kemajuan dalam kasus bantalan

Suatu luaran dapat berupa:

Model tersebut melampaui garis-garis dasar yang disebutkan pada metrik peringatan terpilih dalam kumpulan data yang dievaluasi.

Suatu makna keteknikan yang mungkin adalah:

Pada kondisi tersebut, model itu mungkin dapat mendukung tindakan pemeliharaan yang lebih dini sekaligus menahan alarm palsu dalam batas yang ditentukan.

Suatu klaim kemajuan yang mungkin, apabila validasi selanjutnya mendukungnya, adalah:

Tim pemeliharaan dapat menggunakan representasi sinyal yang dievaluasi untuk memperoleh kapabilitas peringatan yang terbatas pada rentang operasi yang didefinisikan, yang tidak disediakan oleh aturan yang berlaku.

Rumusan kata tersebut harus berubah jika buktinya berubah. Jika model gagal ketika beban meningkat, kegagalan itu bukan sekadar hal yang memalukan. Kegagalan itu merupakan bukti mengenai batas representasi tersebut dan dapat mengarahkan kembali penelitian ke efek kondisi operasi, evaluasi yang tegar, atau klaim yang lebih sederhana.

Itulah salah satu alasan penelitian yang dapat dipertahankan mampu belajar dari kegagalan. Nilainya tidak bergantung pada terwujudnya setiap potensi yang diusulkan. Nilainya bergantung pada apakah penyelidikan tersebut menghasilkan pemahaman yang terjustifikasi tentang apa yang berhasil, tidak berhasil, atau belum dapat berhasil—dan pada kondisi yang mana.

12. PICOAJ sebagai Diagnostik Penelitian Pengantar

Modul ini telah memperkenalkan beberapa elemen yang harus bekerja bersama: masalah, kesenjangan, penyelidikan, perbandingan, luaran, klaim, dan justifikasi. PICOAJ menyediakan cara ringkas untuk memeriksa struktur tersebut.

PICOAJ merupakan singkatan dari:

- **Problem (Masalah):** Masalah berkonsekuensi apa yang menuntut penyelidikan?
- **Intervention (Intervensi):** Apa yang dilakukan, diubah, dibangun, diperiksa, atau ditafsirkan oleh peneliti?
- **Comparison (Perbandingan):** Terhadap apa intervensi, penjelasan, artefak, atau hasil tersebut dinilai?
- **Outcome (Luaran):** Apa yang secara langsung ditemukan atau dihasilkan oleh penyelidikan?
- **Advancement (Kemajuan):** Apa yang kini dapat dipahami atau dilakukan yang sebelumnya tidak mungkin secara dapat dipertahankan?
- **Justification (Justifikasi):** Mengapa klaim tersebut layak diterima?

PICOAJ adalah heuristik analitis yang digunakan sepanjang buku ini. PICOAJ tidak disajikan sebagai kerangka penelitian universal atau taksonomi yang telah disepakati. Nilainya bersifat diagnostik: PICOAJ membuat perbandingan yang hilang, luaran yang berputar-putar, kemajuan yang tak terdukung, dan justifikasi yang kabur menjadi terlihat. Pembedaan antara luaran dan kemajuan serta makna luas dari intervensi mengikuti kerangka kerja yang dikembangkan dalam Paradigma Penelitian (subbagian 6).

Masalah

Masalah bukanlah topik yang luas dan bukan pula ketiadaan metode yang disukai. “Pemeliharaan prediktif”, “kecerdasan artifisial”, dan “pemodelan jembatan” adalah topik. “Algoritma X belum digunakan di sini” adalah pengamatan tentang penggunaan metode secara lokal. Masalah mengidentifikasi kondisi berkonsekuensi yang menuntut penyelidikan dan menunjuk pada apa yang belum diketahui atau belum dapat dilakukan.

Untuk kasus bantalan:

Aturan pemeliharaan yang berlaku tidak memberikan peringatan yang cukup dini dan andal mengenai keadaan kegagalan yang dilabeli pada rentang operasi yang menentukan keputusan pemeliharaan.

Rumusan ini masih bersifat awal. Bukti dari pustaka dan pemangku kepentingan selanjutnya harus menegaskan keadaan sekarang, konsekuensi, dan kesenjangannya.

Intervensi

Intervensi tidak hanya berarti perlakuan eksperimental. Intervensi dapat berupa tindakan empiris, tindakan perancangan, atau tindakan intelektual. Melatih dan mengevaluasi model prediktif adalah intervensi. Membangun dan menguji prototipe adalah intervensi. Membandingkan dua penjelasan,

membuktikan suatu sifat, merumuskan ulang batas sistem, atau menafsirkan pengalaman operator juga dapat menjadi intervensi.

Pertanyaannya bukan semata “Alat apa yang digunakan?” melainkan “Apa yang dilakukan peneliti untuk menghasilkan bukti yang relevan dengan masalah tersebut?”

Perbandingan

Perbandingan membuat perubahan dan perbedaan dapat ditafsirkan. Perbandingan dapat melibatkan:

- aturan pemeliharaan yang berlaku;
- garis dasar prediktif yang sederhana;
- desain atau proses yang berjalan;
- model atau penjelasan yang bersaing;
- tolok ukur atau persyaratan;
- kondisi kontrafaktual atau kondisi tanpa tindakan;
- atau hasil pada kondisi operasi lain.

Suatu perbandingan seharusnya relevan, bukan semata mudah dikalahkan. Membandingkan model bantalan yang canggih hanya dengan terkaan acak mungkin sedikit sekali mengungkapkan apakah model itu memperbaiki keputusan pemeliharaan yang berlaku.

Luaran

Luaran adalah apa yang secara langsung ditemukan atau dihasilkan oleh penyelidikan. Luaran seharusnya dituliskan tanpa memasukkan kontribusi secara mendahului:

“Model kandidat melampaui aturan yang berlaku dan garis dasar sederhana pada metrik peringatan yang ditentukan dalam data yang dievaluasi.”

Pernyataan tersebut adalah luaran. Pernyataan itu belum merupakan penjelasan kegagalan, validasi umum, ataupun pernyataan kemajuan.

Kemajuan

Kemajuan mengidentifikasi perubahan pengetahuan atau kapabilitas relatif terhadap perbandingannya. Kemajuan harus mengikuti dari bukti, bukan mengulang luaran:

“Evaluasi tersebut menegaskan kapabilitas prediktif yang terbatas bagi populasi mesin dan rentang operasi yang direpresentasikan, yang tidak disediakan oleh aturan yang berlaku.”

Jika buktinya hanya mencakup satu kumpulan data dan satu kondisi uji, bahkan rumusan ini pun mungkin terlalu kuat. Kemajuan selalu bersyarat pada apa yang benar-benar telah didemonstrasikan.

Justifikasi

Justifikasi adalah alasan mengapa klaim tersebut layak diterima. Justifikasi mencakup hubungan antara data dan klaim, kendali mutu, asumsi, ketidakpastian, penjelasan alternatif, kememadaan

representasi, dan kondisi. Kriterianya bervariasi menurut jenis penyelidikan. Argumen formal, eksperimen empiris, evaluasi desain, simulasi, dan studi interpretatif tidak membenarkan klaimnya dengan cara yang identik.

Dalam kasus pemeliharaan prediktif, justifikasi mungkin menuntut label yang kredibel, pemisahan data evaluasi, metrik yang relevan, perbandingan dengan praktik yang berlaku, estimasi ketidakpastian, pengujian pada berbagai kondisi operasi, analisis kegagalan, dan batas eksplisit atas penggunaan yang dituju. Ini merupakan daftar sementara, bukan protokol validasi yang lengkap.

Peta PICOAJ untuk kasus awal

Elemen	Entri awal	Pertanyaan diagnostik yang masih terbuka
Masalah	Pemeliharaan yang berlaku tidak dapat memberikan peringatan dini yang memadai pada kondisi yang relevan.	Bagaimana “memadai”, “dini”, dan “relevan” didefinisikan?
Intervensi	Mengembangkan dan mengevaluasi model prediktif dari sinyal sensor yang tersedia.	Mengapa representasi ini tepat bagi keputusan pemeliharaan tersebut?
Perbandingan	Aturan pemeliharaan yang berlaku dan garis dasar prediktif yang sederhana.	Apakah keduanya merupakan alternatif yang kredibel, dan apakah keduanya dievaluasi secara adil?
Luaran	Hasil prediktif komparatif pada kondisi evaluasi.	Metrik, ketidakpastian, dan kasus kegagalan mana yang penting?
Kemajuan	Potensi kapabilitas peringatan yang terbatas atau pengetahuan tentang batas-batasnya.	Apa yang telah menjadi aktual, bukan sekadar diniatkan?
Justifikasi	Asal-usul data, pemisahan evaluasi, garis dasar, kondisi, ketidakpastian, dan analisis kegagalan.	Bukti apa yang masih belum tersedia?

Kolom terakhir sama pentingnya dengan isi entrinya. Peta diagnostik seharusnya mengungkapkan ketidakpastian, bukan menyembunyikannya di balik bahasa yang dipoles.

D. Bahan dan Sumber Belajar

Bahan dan sumber belajar berikut digunakan pada modul ini:

- uraian materi bagian 9 sampai 12 pada modul ini;
- satu kumpulan data, hasil pengukuran, atau hasil simulasi dari kasus pembaca sendiri;
- daftar kondisi operasi dan asumsi representasi yang berlaku pada kasus tersebut;
- kerangka PICOAJ sebagai lembar bantu diagnosis.

E. Aktivitas Belajar

Kerjakan aktivitas berikut menggunakan data atau hasil pengukuran Anda sendiri.

- Aktivitas 3.1 - Dari data ke bukti: pilih satu angka hasil pengukuran atau kinerja, lalu tuliskan syarat apa saja yang harus dipenuhi agar angka itu menjadi bukti.

- Aktivitas 3.2 - Uji cakupan klaim: tuliskan satu klaim Anda, lalu periksa subjek, perbandingan, representasi, kondisi, dan batas buktinya.
- Aktivitas 3.3 - Perbaiki klaim berlebihan: tulis ulang tiga klaim yang terlalu luas menjadi klaim yang terbatas.
- Aktivitas 3.4 - Peta PICOAJ: susun peta PICOAJ untuk kasus Anda dan tandai unsur yang masih kosong.

F. Latihan dan Refleksi

- Kapan sebuah angka hasil pengukuran berhenti menjadi data dan mulai menjadi bukti?
- Kondisi mana yang, jika diubah, paling mengancam klaim Anda?
- Apa perbedaan antara luaran yang Anda peroleh dan kemajuan yang dapat Anda pertahankan?
- Unsur PICOAJ mana yang paling lemah pada kasus Anda saat ini, dan mengapa?

G. Jembatan ke Modul Berikutnya

Modul 3 menegaskan disiplin bukti dan batas klaim. Modul 4 menyatukan seluruh perbedaan itu ke dalam satu kasus terolah lengkap dan tiga lembar kerja diagnostik yang menghasilkan artefak awal Portofolio Pengembangan Penelitian. Bawalah klaim terbatas dan peta PICOAJ Anda ke Modul 4.

MODUL 4 - Diagnosis Terpadu: Kasus Terolah dan Lembar Kerja

A. Kemampuan Akhir

Setelah menyelesaikan modul ini, Anda seharusnya mampu:

1. menelusuri perkembangan satu kasus keteknikan dari implementasi algoritma sampai klaim yang dapat dipertahankan;
2. melengkapi tiga artefak awal Portofolio Pengembangan Penelitian untuk topik Anda sendiri;
3. mengidentifikasi keputusan berikutnya yang diperlukan agar suatu proyek teknis berkembang menjadi penelitian yang dapat dipertahankan;
4. menyusun pembelaan singkat atas status penelitian topik Anda beserta ambiguitas yang masih ada.

B. Tujuan Pembelajaran

Modul ini bersifat integratif. Seluruh pembedaan pada Modul 1 sampai 3 diterapkan pada satu kasus terolah lengkap, kemudian dipindahkan ke topik pembaca sendiri melalui tiga lembar kerja diagnostik: Diagnostik Penelitian-atau-Proyek, Peta Keputusan Penelitian Awal, dan Peta Potensialitas-Aktualitas.

C. Uraian Materi

13. Kasus Terolah Lengkap: Dari Model 94% menjadi Desain Penelitian yang Dapat Dipertahankan

Kasus berikut merupakan contoh hipotetis gabungan. Kasus ini mendemonstrasikan bagaimana status penelitian dan klaim yang diizinkan berubah seiring ditambahkannya bukti dan kondisi. Kasus ini tidak melaporkan model, fasilitas, atau studi validasi yang nyata.

Tahap 1: Implementasi algoritma

Insinyur melatih model pembelajaran mesin menggunakan sinyal vibrasi dan suhu historis. Model tersebut menghasilkan akurasi 94 persen pada kumpulan data uji.

Apa yang ada: kode yang terimplementasi, model yang terlatih, kumpulan data evaluasi, dan hasil kinerja.

Apa yang belum ada: penjelasan yang dapat dipertahankan mengenai masalah operasional, label target, pemisahan data, garis dasar, metrik yang relevan bagi keputusan, kondisi operasi, ataupun klaim yang dituju.

Klasifikasi saat ini: Kegiatan Teknis atau Informasi Tidak Memadai.

Klaim yang diizinkan:

“Model yang terimplementasi menghasilkan akurasi 94 persen pada data evaluasi yang ditentukan.”

Klaim yang ditolak:

“Model tersebut memberikan kontribusi penelitian dan menjelaskan kegagalan bantalan.”

Keputusan penelitian berikutnya bukanlah algoritma canggih mana yang akan dicoba, melainkan masalah dan kesenjangan apa yang diharapkan ditangani oleh model tersebut.

Tahap 2: Perbandingan garis dasar

Insinyur mendefinisikan keputusan pemeliharaan secara lebih jelas dan membandingkan model dengan aturan pemeliharaan yang berlaku serta garis dasar prediktif yang sederhana. Prosedur evaluasi yang sama diterapkan pada semua kandidat.

Apa yang berubah: kinerja kini dapat ditafsirkan relatif terhadap alternatif. Suatu perbaikan bukan sekadar skor yang terlihat besar; perbaikan adalah selisih terhadap sesuatu yang relevan.

Klasifikasi saat ini: berpotensi Proyek Keteknikan atau Penelitian Potensial, bergantung pada apakah kesenjangan yang berkonsekuensi dan penyelidikan yang dapat dialihkan telah ditegakkan.

Klaim yang diizinkan:

“Di bawah prosedur evaluasi yang dinyatakan, model melampaui aturan yang berlaku dan garis dasar sederhana pada metrik terpilih.”

Batas: Perbandingan tersebut masih menyangkut data dan kondisi yang direpresentasikan. Perbandingan itu tidak menegaskan kinerja di lapangan atau keunggulan secara umum.

Tahap 3: Kondisi operasi yang berubah

Insinyur memisahkan evaluasi berdasarkan beban, kecepatan, suhu, dan kondisi sensor. Kinerja menurun pada rezim beban tinggi yang jarang terwakili dalam data pelatihan.

Apa yang berubah: hubungan representasi-klaim menjadi terlihat. Skor agregat tunggal sebelumnya menyembunyikan variasi yang bersifat kondisional.

Nilai penelitian: Penurunan tersebut dapat memunculkan pertanyaan yang lebih baik: Kondisi operasi mana yang mengubah hubungan antara pola sensor dan keadaan kegagalan yang dilabeli, dan representasi seperti apa yang diperlukan untuk peringatan yang andal pada seluruh rentang yang dibutuhkan?

Klaim yang diizinkan:

“Kinerja bervariasi pada rezim operasi yang diuji dan turun di bawah kriteria yang ditentukan pada subhimpunan beban tinggi.”

Klaim yang ditolak:

“Model tersebut tegar terhadap variasi operasi.”

Klasifikasi saat ini: Penelitian Potensial apabila kegagalan kondisional tersebut berkonsekuensi dan penyelidikan berikutnya dapat menghasilkan bukti mengenainya.

Tahap 4: Kegagalan di luar kondisi pelatihan

Insinyur mempelajari alarm palsu, peringatan yang terlewat, dan kasus-kasus yang berbeda dari data pengembangan model. Beberapa gugus galat berasosiasi dengan kombinasi beban dan perilaku sensor yang tidak ada atau jarang dalam data pelatihan.

Apa yang berubah: kegagalan menjadi bukti mengenai batas representasi yang berlaku. Studi tersebut tidak lagi memperlakukan kinerja yang buruk semata sebagai rintangan yang harus dihilangkan melalui penyetelan.

Kemungkinan luaran pengetahuan: penjelasan terbatas mengenai kondisi terepresentasi mana yang berasosiasi dengan prediksi yang tidak andal.

Kemungkinan luaran desain: strategi data, masukan model, atau pembatasan ranah operasi yang direvisi.

Batas: Asosiasi galat dengan sendirinya tidak menjelaskan mekanisme kegagalan fisis. Asosiasi itu dapat memotivasi hipotesis mekanistik, bukan menyelesaikannya.

Tahap 5: Demonstrasi kapabilitas prediktif

Insinyur kini menentukan horizon peringatan, perilaku peringatan-terlewat dan alarm-palsu yang dapat diterima, populasi mesin yang direpresentasikan, serta rentang operasi yang akan diuji. Model-model kandidat dibandingkan dengan aturan yang berlaku dan garis dasar sederhana. Evaluasi menggunakan data yang dipisahkan dari pengembangan model, dan ketidakpastian dilaporkan.

Apa yang berubah: “akurasi yang baik” menjadi kapabilitas yang dituju dengan kriteria yang relevan bagi keputusan.

Klaim yang diizinkan:

“Untuk populasi mesin yang direpresentasikan dan rentang operasi yang diuji, model terpilih memenuhi kriteria peringatan yang dinyatakan dan mengungguli kedua garis dasar yang disebutkan di bawah prosedur evaluasi tersebut.”

Klasifikasi saat ini: berpotensi Desain Penelitian yang Dapat Dipertahankan pada tahap perencanaan, dan kapabilitas prediktif yang terdemonstrasi setelah pelaksanaan yang berhasil.

Batas: Demonstrasi pada kondisi terpilih bukanlah validasi bagi setiap fasilitas, jenis mesin, periode mendatang, atau konfigurasi sensor yang dituju.

Tahap 6: Validasi terbatas

Insinyur mengevaluasi model dan aturan keputusan yang telah ditetapkan pada periode waktu atau kelompok mesin baru yang mewakili penggunaan yang dituju secara terdefinisi. Kriteria penerimaan dan kondisinya ditetapkan lebih dahulu. Kasus kegagalan dianalisis, bukan dihilangkan semata karena menurunkan skor utama.

Apa yang berubah: klaim dapat menyoal kelayakan bagi penggunaan dan populasi yang dinyatakan lebih jelas.

Klaim yang diizinkan:

“Sistem prediktif yang telah ditetapkan memenuhi kriteria peringatan yang telah didefinisikan sebelumnya bagi populasi mesin, konfigurasi sensor, rentang operasi, dan periode evaluasi yang ditentukan.”

Batas: Ini tetap merupakan validasi terbatas. Hal itu tidak menciptakan keberlakuan universal. Perubahan pada peralatan, praktik pemeliharaan, sensor, lingkungan, atau definisi kegagalan dapat membuka kembali kebutuhan bukti.

Kemungkinan kemajuan: Keputusan pemeliharaan bagi penggunaan yang ditentukan kini dapat bersandar pada kapabilitas peringatan yang tidak disediakan oleh garis dasar, dengan kondisi dan batas kegagalan yang diketahui.

Tahap 7: Klaim kausal yang berlebihan

Setelah hasil prediktif dilaporkan, insinyur menulis:

“Model tersebut menjelaskan mekanisme fisis kegagalan bantalan.”

Klaim tersebut gagal karena penyelidikan dirancang untuk mengevaluasi kapabilitas prediksi dan keputusan. Asosiasi prediktif dapat bermanfaat tanpa mengidentifikasi mekanisme yang menghasilkannya. Kepentingan fitur, korelasi, atau kinerja peringatan yang berulang dapat mengisyaratkan apa yang layak diselidiki secara mekanistik, tetapi klaim eksplanatif menuntut argumen evidensial yang berbeda dan pengujian terhadap alternatifnya.

Revisi yang dapat dipertahankan:

“Pola sinyal yang dievaluasi mendukung prediksi terbatas atas keadaan kegagalan yang dilabeli pada kondisi yang dinyatakan. Pola tersebut memunculkan hipotesis tentang kemungkinan mekanisme degradasi, yang tidak diuji dalam studi ini.”

Penelitian tersebut tidak menjadi lebih lemah dengan menolak klaim kausal itu. Penelitian tersebut menjadi lebih dapat dipertahankan karena klaimnya kini sesuai dengan penyelidikannya.

Peta keputusan penelitian yang lengkap

Kasus tersebut kini dapat diringkas melalui tulang punggung konseptual Modul ini:

kegiatan keteknikan

-> penghentian tak terencana yang berulang

-> hubungan sinyal-kondisi yang tidak pasti dan kapabilitas peringatan yang tidak memadai

-> penyelidikan prediktif komparatif

- > pengembangan model, evaluasi kondisional, dan analisis kegagalan
- > bukti bagi klaim peringatan yang terbatas
- > kemungkinan kemajuan dalam kapabilitas pemeliharaan

Peta potensialitas-aktualitas praktisnya adalah:

- peringatan lebih dini yang mungkin
- > sistem prediktif yang diusulkan
- > model yang terimplementasi
- > kriteria yang terdemonstrasi dalam pengujian terpilih
- > penggunaan yang tervalidasi pada populasi dan periode yang ditentukan
- > kemajuan terbatas relatif terhadap praktik yang berlaku

Tidak ada satu keadaan pun yang menjamin keadaan berikutnya.

Pertanyaan pengalihan kasus terolah

Terapkan penalaran yang sama pada topik keteknikan Anda sendiri:

1. Apa yang bersesuaian dengan skor awal 94 persen tersebut—suatu luaran yang saat ini tampak lebih bermakna daripada yang sebenarnya?
2. Garis dasar mana yang mewakili praktik yang berlaku alih-alih alternatif yang sengaja dipilih karena lemah?
3. Perubahan kondisi mana yang dapat menyingkap batas representasi Anda?
4. Apa yang akan dihitung sebagai demonstrasi, dan langkah tambahan apa yang akan dihitung sebagai validasi?
5. Klaim menarik mana yang akan melampaui penyelidikan yang sebenarnya Anda rancang?

Jawaban Anda menyediakan bahan mentah bagi ketiga artefak portofolio pada bagian-bagian berikutnya.

D. Bahan dan Sumber Belajar

Modul ini bersifat konseptual dan diagnostik; tidak diperlukan peralatan laboratorium. Bahan dan sumber belajar berikut sebaiknya tersedia bagi setiap pembaca:

1. Topik keteknikan sendiri (tugas akhir, proyek, atau rencana penelitian) sebagai bahan latihan.
2. Lembar kerja RDP-01 Diagnostik Penelitian-atau-Proyek.
3. Lembar kerja RDP-02 Peta Keputusan Penelitian Awal.
4. Lembar kerja RDP-03 Peta Potensialitas-Aktualitas.
5. Akses ke pustaka primer (jurnal, prosiding, standar teknis) untuk memeriksa kesenjangan pengetahuan.
6. Buku catatan atau portofolio digital untuk merekam masalah, kesenjangan, klaim sementara, bukti, dan keputusan berikutnya.

7. Data, laporan uji, atau hasil simulasi milik sendiri apabila tersedia, untuk dianalisis sebagai bahan bukti.

E. Aktivitas Belajar

Kerjakan ketiga lembar kerja diagnostik berikut menggunakan topik keteknikan Anda sendiri, kemudian lanjutkan dengan rangkaian aktivitas kelas pada bagian akhir modul. Setiap lembar kerja diisi secara jujur: biarkan kolom bukti yang belum tersedia tetap kosong.

14. Diagnostik Penelitian-atau-Proyek

Tugas praktis pertama dalam mengembangkan penelitian bukanlah memaksa setiap kegiatan keteknikan masuk ke dalam label penelitian, melainkan menentukan status kegiatan tersebut saat ini dan keputusan terkecil yang belum diambil yang akan membuat langkah berikutnya lebih dapat dipertahankan.

Gunakan Diagnostik Penelitian-atau-Proyek di bawah ini untuk kasus yang disediakan, lalu untuk topik Anda sendiri. Catat bukti bagi setiap jawaban. Jawaban “ya” yang meyakinkan tanpa alasan tidaklah cukup.

RDP-01 Diagnostik Penelitian-atau-Proyek

Proyek atau topik:

Pemilik:

Tanggal dan versi:

Ruas diagnostik	Pertanyaan	Bukti atau keputusan Anda
Masalah tak terselesaikan	Masalah berkonsekuensi apa yang masih belum terselesaikan?	
Kesenjangan pengetahuan	Apa yang belum diketahui?	
Kesenjangan kapabilitas	Apa yang belum dapat dilakukan secara memadai?	
Potensi pertanyaan penelitian	Dapatkah penyelidikan yang terjawabkan dirumuskan tanpa mengasumsikan hasilnya?	
Kebutuhan bukti	Pengamatan, argumen, atau hasil apa yang dapat mendukung atau menantang klaim yang dituju?	
Perbandingan atau garis dasar	Terhadap apa penjelasan, intervensi, atau artefak tersebut harus dinilai?	
Representasi	Bagian mana dari fenomena atau sistem yang direpresentasikan, dan apa yang diabaikan?	
Klaim terbatas	Apa yang dapat diklaim apabila bukti yang diperlukan diperoleh?	
Kemungkinan kemajuan	Apa yang mungkin menjadi dapat dipahami atau dapat dilakukan secara baru?	

Ruas diagnostik	Pertanyaan	Bukti atau keputusan Anda
Justifikasi	Mengapa pembaca yang kritis akan menerima klaim tersebut?	
Keteralihan	Di mana pengetahuan atau kapabilitas tersebut dapat diterapkan di luar luaran langsungnya, dan di mana tidak dapat?	
Status penelitian	Status mana di bawah ini yang terdukung, dan mengapa?	

Definisi status

KEGIATAN TEKNIK berlaku ketika suatu metode atau tugas dijalankan tetapi tidak ada masalah berkonsekuensi dan logika bukti-klaim yang ditegakkan.

PROYEK KETEKNIKAN berlaku ketika kebutuhan dalam situasi tertentu, persyaratan, kendala, dan luaran teknis sudah jelas, tetapi penyelidikan yang dapat dialihkan, perbandingan, atau kemajuan tidak ada atau tidak diperlukan.

PENELITIAN POTENSIAL berlaku ketika kesenjangan berkonsekuensi dan penyelidikan yang masuk akal sudah ada, tetapi kebutuhan bukti, perbandingan, representasi, batas klaim, atau justifikasi masih belum lengkap.

DESAIN PENELITIAN YANG DAPAT DIPERTAHANKAN berlaku ketika masalah, kesenjangan, klaim yang dituju, perbandingan, representasi, kebutuhan bukti, kondisi, dan kemungkinan kemajuan membentuk desain yang koheren dan dapat diaudit. Status ini tidak berarti bahwa penelitian tersebut telah berhasil.

INFORMASI TIDAK MEMADAI berlaku ketika deskripsi yang tersedia tidak dapat menopang klasifikasi yang bertanggung jawab.

Aturan penimpaan

Gunakan aturan berikut untuk mencegah penilaian yang terlalu optimistis:

1. Tanpa masalah tak terselesaikan, kegiatan tersebut tidak dapat melampaui Proyek Keteknikan.
2. Tanpa kesenjangan pengetahuan atau kapabilitas, kegiatan tersebut tidak dapat melampaui Proyek Keteknikan.
3. Tanpa perbandingan yang diperlukan, kegiatan tersebut tidak dapat melampaui Penelitian Potensial.
4. Tanpa kebutuhan bukti atau klaim terbatas, kegiatan tersebut tidak dapat melampaui Penelitian Potensial.
5. Jika klaim melampaui representasi atau kondisinya, kembalikan kegiatan itu ke Penelitian Potensial sampai klaim atau desainnya direvisi.
6. **Desain Penelitian yang Dapat Dipertahankan adalah status desain, bukan luaran yang tervalidasi atau kontribusi yang terdemonstrasi.**

Kutipan diagnostik terolah: sistem inspeksi otonom

Seorang insinyur membangun sistem visual otonom yang menavigasi rute uji dalam ruangan yang terkendali dan mengidentifikasi cacat permukaan yang ditandai. Sistem tersebut menyelesaikan rute itu satu kali.

- **Luaran:** sistem otonom yang terimplementasi dan satu demonstrasi.
- **Kapabilitas potensial:** inspeksi tanpa kendali manusia yang terus-menerus.
- **Bukti yang belum ada:** keterulangan, kriteria deteksi cacat, kegagalan navigasi, halangan yang jarang terjadi, variasi pencahayaan, perilaku pengambilalihan oleh manusia, garis dasar yang relevan, dan batas operasi yang dituju.
- **Batas klaim:** rute yang diselesaikan mendemonstrasikan satu instans pada kondisi uji tersebut; hal itu tidak menegakkan inspeksi otonom yang aman atau efektif pada fasilitas operasional.
- **Status:** Penelitian Potensial apabila kapabilitas yang belum tersedia itu berkonsekuensi dan evaluasi yang direncanakan dapat menopang klaim terbatas; jika tidak, kegiatan itu mungkin merupakan Proyek Keteknikan atau tetap Informasi Tidak Memadai.
- **Keputusan berikutnya:** definisikan penggunaan inspeksi yang dituju serta kondisi dan kriteria kegagalan yang harus direpresentasikan oleh bukti.

Gerbang mutu

Pertahankan klasifikasi Anda dalam tidak lebih dari 150 kata. Sebutkan satu keputusan berikutnya yang berdampak hilir paling besar. Jika Anda tidak dapat mengidentifikasinya, diagnostik tersebut belum menjalankan fungsinya.

15. Peta Keputusan Penelitian Awal

Topik yang luas belum merupakan masalah penelitian. Peta Keputusan Penelitian Awal mengubah minat menjadi serangkaian keputusan sementara yang dapat dilacak, tanpa berpura-pura bahwa tinjauan pustaka dan penyusunan masalah secara formal telah selesai.

RDP-02 Peta Keputusan Penelitian Awal

Ruas	Entri
Topik luas	
Aktualitas yang ada: apa yang saat ini ada, diketahui, atau dapat dilakukan	
Masalah teramati dan konsekuensinya	
Sistem atau unit yang terpengaruh	
Pemangku kepentingan dan keputusan yang terpengaruh	
Apa yang belum diketahui	
Apa yang belum dapat dilakukan	
Pengetahuan atau kapabilitas potensial yang dikenali	
Penyelidikan yang diusulkan	

Ruas	Entri
Kemungkinan intervensi atau artefak	
Perbandingan atau garis dasar yang diperlukan	
Bukti yang dibutuhkan	
Klaim terbatas sementara	
Kemungkinan kemajuan	
Kondisi yang relevan	
Batas sistem dan pengecualian	
Status penelitian saat ini	
Keputusan penelitian berikutnya	
Pemilik, tanggal, dan versi	

Kutipan contoh: pemeliharaan prediktif

Topik luas: Pemeliharaan prediktif berbasis pembelajaran mesin untuk mesin berputar.

Aktualitas yang ada: Rekaman sensor dan catatan pemeliharaan historis tersedia; aturan pemeliharaan yang berlaku menghasilkan keputusan tetapi tidak menyediakan kapabilitas peringatan yang dituju pada semua kondisi operasi yang relevan.

Masalah teramati: Penghentian tak terencana tetap mungkin terjadi, sementara sebagian penggantian preventif dapat dilakukan tanpa bukti kegagalan yang segera akan terjadi.

Apa yang belum diketahui: Hubungan sinyal-kondisi terukur mana yang menopang prediksi yang andal pada rezim operasi yang direpresentasikan oleh keputusan pemeliharaan.

Apa yang belum dapat dilakukan: Memberikan peringatan dalam horizon yang dibutuhkan sambil mempertahankan perilaku peringatan-terlewat dan alarm-palsu yang dapat diterima pada rezim-rezim tersebut.

Potensi yang dikenali: Kapabilitas prediktif yang terbatas dan pengetahuan yang lebih baik mengenai batas operasinya.

Perbandingan yang diperlukan: Aturan pemeliharaan yang berlaku dan garis dasar prediktif sederhana yang kredibel.

Klaim terbatas sementara: Suatu sistem prediktif yang telah ditetapkan mungkin memenuhi kriteria peringatan yang didefinisikan sebelumnya bagi populasi mesin, konfigurasi sensor, dan rentang operasi tertentu, relatif terhadap garis-garis dasar yang disebutkan.

Keputusan penelitian berikutnya: Tegakkan, melalui pekerjaan pada Modul 2 dan Modul 4, apakah penyelidikan utamanya bersifat keteknikan, ilmiah, atau hibrida, dan apakah bukti dari pustaka dan pemangku kepentingan menyokong kesenjangan-kesenjangan awal tersebut.

Aturan konsistensi

- Penyelidikan yang diusulkan harus menangani sekurang-kurangnya satu kesenjangan yang tercatat.
- Bukti harus mampu mendukung atau menantang klaim sementara tersebut.
- Kemungkinan kemajuan tidak boleh sekadar mengulang artefak atau luaran yang dituju.
- Kondisi dalam klaim juga harus muncul pada ruas representasi dan bukti.
- Jika kesenjangannya berubah, buka kembali penyelidikan yang diusulkan, perbandingan, bukti, klaim, dan kemajuannya.

Aturan terakhir tersebut sangat penting. Pengembangan penelitian bersifat kumulatif tetapi dapat direvisi. Suatu elemen di hilir tidak tetap sah semata karena waktu telah dicurahkan untuknya.

16. Peta Potensialitas-Aktualitas Pengantar

Peta Keputusan Penelitian Awal mencatat proyek sebagai satu keseluruhan. Peta Potensialitas-Aktualitas berfokus pada peralihan keadaan. Peta itu menunjukkan secara tepat apa yang masih dibayangkan, diusulkan, diimplementasikan, didemonstrasikan, divalidasi, atau dimajukan.

RDP-03 Peta Potensialitas-Aktualitas

Ruas	Entri
Aktualitas yang ada	
Potensialitas yang dikenali	
Aktualisasi yang dituju	
Representasi atau artefak yang diusulkan	
Bukti yang dibutuhkan	
Perbandingan atau garis dasar	
Hasil yang terdemonstrasi	
Kondisi validasi	
Aktualitas terbatas	
Klaim kemajuan yang diizinkan	
Apa yang masih hanya potensial	

Untuk setiap peralihan, catat lima butir berikut:

Peralihan	Bukti yang dibutuhkan	Bukti yang benar-benar tersedia	Kondisi	Status dan risiko yang belum terselesaikan
Mungkin -> Diusulkan				
Diusulkan -> Diimplementasikan				
Diimplementasikan -> Didemonstrasikan				
Didemonstrasikan -> Divalidasi				
Divalidasi -> Maju				

Jangan menandai suatu peralihan hanya karena keadaan berikutnya diniatkan, diharapkan, atau tampak menarik. Jika buktinya tidak ada, tuliskan masih potensial.

Kutipan contoh: kendali termal

- **Aktualitas yang ada:** Pengendali yang berlaku melampaui pita suhu yang ditentukan selama profil beban kalor variabel yang didefinisikan.
- **Potensialitas yang dikenali:** Kendali terlokalisasi mungkin dapat menurunkan suhu puncak tanpa melampaui batas energi.
- **Representasi atau artefak yang diusulkan:** Prototipe laboratorium dan protokol pengujian yang merepresentasikan beban dan lokasi sensor terpilih.
- **Bukti yang dibutuhkan:** Hasil komparatif suhu puncak dan respons kendali, ketidakpastian pengukuran, penggunaan energi, dan perilaku kegagalan.
- **Hasil yang terdemonstrasi:** Kosong sebelum pelaksanaan. Usulan penurunan 13°C hanya boleh ditempatkan di sini setelah hal itu teramati dan terdukung.
- **Kondisi validasi:** Rentang beban yang dituju, lingkungan, variasi perangkat keras, durasi operasi, kriteria penerimaan, dan penggunaan bagi keputusan.
- **Aktualitas terbatas:** Apa yang ditunjukkan oleh bukti pada kondisi tersebut—bukan apa yang diniatkan dilakukan oleh desain.
- **Apa yang masih potensial:** Kinerja di lapangan, keandalan jangka panjang, tata letak komponen lain, dan mekanisme apa pun yang belum diperiksa.

Lembar kerja ini menggunakan potensialitas dalam pengertian penelitian yang praktis. Lembar kerja ini tidak mengasumsikan penjelasan metafisis yang dipratinjaukan sebelumnya.

17. Refleksi, Sintesis, dan Jembatan ke Depan

Penelitian tidak dimulai ketika seorang insinyur membuka perangkat lunak, memulai eksperimen, mengunduh data, atau membangun prototipe. Tindakan-tindakan tersebut menjadi bagian dari penelitian ketika ia diorganisasikan menjadi penyelidikan yang mampu menghasilkan bukti bagi klaim terbatas dan kemajuan yang dapat dipertahankan.

Rangkaian utamanya adalah:

kegiatan keteknikan

- > masalah tak terselesaikan
- > kesenjangan pengetahuan atau kesenjangan kapabilitas
- > penyelidikan sistematis
- > tindakan penghasil bukti
- > klaim terbatas
- > kemajuan

Rangkaian potensialitas yang praktis menambahkan kendali kedua:

- aktualitas yang ada
- > potensialitas yang dikenali
- > masalah penelitian
- > penyelidikan atau perancangan
- > representasi atau artefak
- > evaluasi
- > bukti
- > aktualisasi terbatas
- > kemajuan

Kedua rangkaian tersebut bersama-sama melindungi penelitian dari dua kekeliruan yang berlawanan. Yang pertama adalah inflasi metode: memperlakukan kegiatan teknis sebagai penelitian karena alatnya canggih. Yang kedua adalah kontribusi yang prematur: memperlakukan gagasan, implementasi, skor, atau demonstrasi sebagai kemajuan yang tervalidasi.

Sintesis bab

Pembedaan-pembedaan sentral Modul ini dapat diringkas sebagai berikut:

- Metode adalah prosedur; metodologi adalah logika yang menghubungkan masalah, klaim, bukti, asumsi, dan metode.
- Masalah praktis tidak otomatis merupakan kesenjangan penelitian.
- Kesenjangan pengetahuan menyangkut apa yang belum diketahui secara memadai; kesenjangan kapabilitas menyangkut apa yang belum dapat dilakukan secara memadai.
- Penyelidikan ilmiah terutama mencari deskripsi, prediksi, penjelasan, atau pemahaman; penyelidikan keteknikan terutama mencari kapabilitas yang diciptakan, diperbaiki, dipilih, atau divalidasi; penyelidikan hibrida menautkan keduanya.
- Artefak adalah luaran; kontribusi adalah kemajuan yang dapat dipertahankan yang ditegakkan melalui penyelidikan dan evaluasi.
- Data menjadi bukti hanya dalam kaitannya dengan suatu pertanyaan, logika analitis, dan kendali mutu.

- Suatu representasi memadai bagi suatu klaim pada kondisi tertentu, bukan baik atau buruk secara abstrak.
- Luaran adalah apa yang secara langsung ditemukan atau dihasilkan oleh penyelidikan; kemajuan adalah apa yang kini dapat dipahami atau dilakukan.
- Potensialitas memotivasi penyelidikan tetapi tidak membuktikan aktualitas.
- Mungkin, diusulkan, diimplementasikan, didemonstrasikan, divalidasi, dan maju merupakan keadaan-keadaan yang berbeda.

Aktivitas

Aktivitas 1: Galeri klasifikasi

Klasifikasikan setiap skenario berikut sebagai Kegiatan Teknis, Proyek Keteknikan, Penelitian Potensial, Desain Penelitian yang Dapat Dipertahankan, atau Informasi Tidak Memadai. Pertahankan setiap jawaban dengan logika masalah-kesenjangan-bukti-klaim.

1. Seorang mahasiswa menjalankan tutorial CFD standar dan melaporkan medan kecepatan yang dihasilkan.
2. Seorang insinyur merancang sistem ventilasi sesuai spesifikasi baku untuk satu bangunan.
3. Sebuah tim mengusulkan geometri sensor baru tetapi belum mengidentifikasi perbandingan atau kebutuhan bukti.
4. Sebuah studi menetapkan keterbatasan pengukuran yang berkonsekuensi, membandingkan dua susunan sensor, mendefinisikan ketidakpastian dan kondisi operasi, serta menyatakan klaim terbatas yang dituju.
5. Sebuah prototipe hanya dideskripsikan sebagai “baru dan berhasil”.
6. Sebuah sistem otonom menyelesaikan satu demonstrasi terkendali.

Aktivitas 2: Pembedahan klaim

Tulis ulang setiap klaim berikut sehingga subjek, perbandingan, representasi, kondisi, dan batas buktinya terlihat:

1. “Jembatan itu aman.”
2. “Model tersebut menjelaskan kegagalan bantalan.”
3. “Pengendali baru itu lebih baik.”
4. “Sensor tersebut mengukur suhu mesin secara akurat.”

Untuk setiap revisi, nyatakan apa yang masih belum diuji.

Aktivitas 3: Analisis PICOAJ

Terapkan PICOAJ pada kasus pemeliharaan prediktif atau kasus kendali termal. Perbandingan tidak boleh dibiarkan kosong. Kemajuan tidak boleh mengulang luaran. Justifikasi harus mencakup sekurang-kurangnya satu kemungkinan hasil yang menyanggah atau membatasi.

Aktivitas 4: Potensial tetapi belum aktual

Pilih satu gagasan keteknikan yang Anda yakini memiliki potensi kuat. Tempatkan gagasan itu pada salah satu dari enam keadaan dan identifikasi bukti yang diperlukan untuk keadaan berikutnya. Kemudian tulis satu kalimat yang memotivasi potensi tersebut tanpa menyebutnya sebagai kontribusi.

Aktivitas 5: Diagnostik Penelitian-atau-Proyek

Lengkapi RDP-01 untuk topik Anda. Terapkan aturan penempatan dan pertahankan status yang dihasilkan dalam tidak lebih dari 150 kata.

Aktivitas 6: Peta Keputusan Penelitian Awal

Lengkapi RDP-02. Identifikasi satu keputusan yang harus diselesaikan sebelum masalah penelitian atau pertanyaan penelitian formal dapat dipertahankan.

Aktivitas 7: Peta Potensialitas-Aktualitas

Lengkapi RDP-03. Biarkan bukti yang tidak tersedia dan hasil yang belum terdemonstrasi secara eksplisit kosong atau ditandai masih potensial.

Kemudian periksa keselarasan di antara ketiga artefak tersebut:

- Apakah kesenjangan dalam RDP-01 muncul dalam RDP-02?
- Apakah klaim yang dituju dalam RDP-02 sesuai dengan representasi dan kondisinya?
- Apakah RDP-03 membiarkan luaran yang belum terdemonstrasi tetap kosong?
- Apakah kemungkinan kemajuan berbeda dari artefaknya?
- Apakah keputusan berikutnya dinyatakan secara eksplisit?

Aktivitas 8: Refleksi dan pengalihan

1. Apa yang belum saya ketahui?
2. Apa yang belum dapat saya lakukan?
3. Pengetahuan atau kapabilitas potensial apa yang mungkin dapat dikembangkan?
4. Bukti apa yang akan mendemonstrasikan bahwa potensi tersebut telah menjadi aktual?

Tambahkan dua pertanyaan berikut:

1. Klaim mana yang paling menggoda saya untuk dinyatakan sebelum saya memiliki bukti?
2. Kondisi mana yang, jika diubah, paling mengancam klaim tersebut?

F. Latihan dan Refleksi

Asesmen bab

Kumpulkan ketiga artefak portofolio beserta pembelaan status penelitian sepanjang 500 kata. Pembelaan Anda harus:

- mengklasifikasikan kegiatan tersebut;
- mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan atau kapabilitas awal;
- menyatakan apakah penyelidikan yang dituju bersifat ilmiah, keteknikan, atau hibrida;
- menyebutkan perbandingan dan bukti yang dibutuhkan;
- merumuskan satu klaim terbatas sementara;
- membedakan luaran potensial dari kemungkinan kemajuan;
- serta mengidentifikasi keputusan berikutnya.

Pekerjaan tersebut sebaiknya dinilai berdasarkan ketepatan konseptual, koherensi kesenjangan-masalah, logika perbandingan dan bukti, kesesuaian representasi-kondisi-klaim, disiplin potensialitas-aktualitas, penalaran kemajuan, dan keterlacakan.

G. Jembatan ke Modul Berikutnya

Rangkaian empat modul ini berakhir sebelum pengembangan penelitian secara formal dimulai. Kini Anda seharusnya memiliki sebuah diagnosis, bukan proposal yang sudah selesai.

Bawalah hal-hal berikut ke tahap penetapan paradigma dan strategi penyelidikan:

- klasifikasi awal Anda sebagai ilmiah, keteknikan, atau hibrida;
- jenis klaim yang Anda niatkan untuk dinyatakan;
- logika bukti yang tersirat oleh klaim tersebut;
- serta setiap ambiguitas dalam klasifikasi tersebut.

Bawalah hal-hal berikut ke tahap perumusan masalah dan pertanyaan penelitian:

- masalah teramati dan konsekuensinya;
- kesenjangan pengetahuan dan kapabilitas awal;
- sistem dan pemangku kepentingan yang terpengaruh;
- batas sistem dan kondisinya;
- serta keputusan berikutnya yang harus diselesaikan oleh pustaka dan perumusan masalah.

Jangan lindungi entri-entri tersebut dari revisi. Tujuan portofolio adalah keterlacakan, bukan kekekalan. Jika bukti selanjutnya mengubah kesenjangan tersebut, revisi masalah, pertanyaan, tujuan, desain, rencana bukti, klaim, dan kemungkinan kemajuan yang bergantung padanya.

Pembedaan-pembedaan pengantar ini juga akan kembali dengan ketepatan yang lebih tinggi. Modul-modul lanjutan akan mengembangkan luaran, kemajuan, dan kontribusi; perancangan eksperimen, model, simulasi, dan artefak; perbandingan, verifikasi, dan validasi; pergerakan dari temuan ke penjelasan dan makna; rekonstruksi serta kritik atas potensialitas, Yang Satu/kesatuan, dan keutuhan; serta integrasi portofolio pengembangan penelitian secara lengkap. Modul ini hanya menyediakan kosakata diagnostiknya, bukan pembahasan akhirnya.

Uji praktis untuk meninggalkan Modul ini sederhana:

Dapatkan Anda menjelaskan apa yang akan mengubah kegiatan keteknikan Anda saat ini menjadi penelitian yang dapat dipertahankan—dan bukti apa yang belum Anda miliki?

Jika jawabannya jelas dan terbatas, perjalanan penelitian dapat dimulai.

DAFTAR PUSTAKA

- Faggin, Federico. Irreducible: Consciousness, Life, Computers, and Human Nature. Digunakan pada modul ini hanya untuk pratinjau filosofis yang terbatas mengenai Yang Satu, potensialitas, aktualitas, pengetahuan, dan kreativitas (PDF hlm. 16, 173, 241, 284).
- Nallaperumal, Krishnan. Engineering Research Methodology: A Computer Science and Engineering and Information and Communication Technologies Perspective. Edisi pertama. Bagian yang dirujuk pada modul ini: PDF hlm. 6, 11, 17-18, 28-30, 48-52, 49-50, dan 100-101.
- Paradigma Penelitian: Dari Ontologi hingga Aplikasi Pengetahuan. Bagian yang dirujuk pada modul ini: subbagian 1.1-1.2, 4.5, 6, 8, dan 9.*