

TISE Rekayasa Cerdas Berbasis Triune Intelligence:

Panduan Metodologi, Penulisan Disertasi, dan Alat Bantu untuk Era AI

Armein Z. R. Langi

2025-09-18

Table of contents

Preface	7
Outline Buku	9
1 Introduction	15
2 Bab 1: Pengantar Rekayasa Cerdas di Era AI dan Kebutuhan TISE	16
2.1 1.1 Definisi dan Filosofi Rekayasa dalam TISE	16
2.2 1.2 Enam Karakteristik Artefak Cerdas TISE	17
2.3 1.3 Orisinalitas dan Keunggulan Paradigma TISE: Sebuah Analisis Kritis	18
2.4 TISE dan Socio-Technical Systems (STS)	18
2.5 TISE dan Value-Sensitive Design (VSD)	19
2.6 TISE dan AI Value Alignment	19
3 Bab 2: Fondasi Triune Intelligence (TI)	21
3.1 2.1 Definisi Triune Intelligence (TI)	21
3.2 2.2 Peran Utama Setiap Kecerdasan dalam TI	22
3.3 2.3 TI sebagai Sistem Intelijen Hibrida Dinamis	22
3.4 2.4 Pemetaan TI ke Model Kolaborasi Manusia-AI (HAIC)	23
3.5 2.5 Metafora Dasar: Otak Triune MacLean dan Id-Ego-Superego Freud	23
3.6 2.6 TI dalam Meningkatkan Kapasitas PUDAL dan PSKVE	24
4 Bab 3: Karakteristik Artefak Cerdas dalam Paradigma TISE	26
4.1 3.1 Strong (Kuat): Fondasi Melalui Core Engine	26
4.2 3.2 Smart (Cerdas): Adaptabilitas Melalui PUDAL Engine Triune . .	27
4.3 3.3 Extended Range (Jangkauan Luas): Penciptaan Nilai Holistik Melalui PSKVE Engine	28
4.4 3.4 Realistic (Realistis): Performa yang Dapat Diverifikasi Melalui PICOC Systematic	29
4.5 3.5 Doable (Dapat Dilaksanakan): Pengembangan Terstruktur Melalui Arsitektur ASTF	29
4.6 3.6 Methodic (Metodis): Proses Pengembangan Sistematis Melalui W-Model	30
5 Bab 4: Kerangka Kerja ASTF: Dekomposisi Masalah dari Aplikasi ke Fundamental	32
5.1 4.1 Membedah Kompleksitas dengan Empat Lapisan	32

5.2	4.2 Contoh Penerapan ASTF: Sistem Komuter Cerdas Jakarta-Bandung	33
5.3	4.3 ASTF sebagai Peta Jalan Riset	34
6	Bab 5: Siklus Kognitif Triune-PUDAL Engine	36
6.1	5.1 PUDAL Engine: Inti Kognitif untuk Kecerdasan Adaptif	36
6.2	5.2 Re-arsitektur PUDAL sebagai Kolaborasi Triune Intelligence . . .	37
6.3	5.3 PUDAL vs. OODA: Sebuah Arsitektur Kognitif Sejati	38
6.4	5.4 PUDAL sebagai “Meta-Prompt Engine” dan Arsitektur Human-in-the-Loop	38
6.5	5.5 Metrik Kapasitas Triune-PUDAL	39
7	Bab 6: PSKVE Engine: Menciptakan Nilai Holistik dan Berjangkauan Luas	40
7.1	6.1 Konsep PSKVE Energy: Abstraksi Nilai Multi-Dimensi	40
7.2	6.2 Peran PSKVE Engine: Memperluas Jangkauan dan Memberikan Nilai Holistik	41
7.3	6.3 Dampak Triune Intelligence pada PSKVE	41
7.4	6.4 Dimensi PSKVE secara Rinci: Artefak dan Energi	41
7.5	6.5 Prinsip Penciptaan Nilai dan Sistem Kompetitif PSKV-S	43
7.6	6.6 Model <i>Virtual Prototyping</i> dan Evolusi PSKV-S	43
7.7	6.7 Studi Kasus: Sistem Rekomendasi Makanan Sehat (MSRS)	44
8	Bab 7: Metodologi Validasi PICOC Sistematis	45
8.1	7.1 PICOC sebagai Fondasi Riset Berbasis Bukti	45
8.2	7.2 Penerapan PICOC di Setiap Lapisan ASTF (PICOC Berlapis) . .	46
8.3	7.3 Membangun Argumen yang Kuat Melalui PICOC Berlapis	48
8.4	7.4 Peran Triune Intelligence dalam Memperkuat Ketelitian PICOC	48
8.5	7.5 Tantangan Verifikasi dan Validasi dalam System of Autonomous Systems (SoAS)	49
9	Bab 8: W-Model untuk Rekayasa Cerdas: Mengintegrasikan Desain, Sintesis, dan Validasi Berkelanjutan	50
9.1	8.1 Prinsip V-Method: Keterlacakan dan Kelayakan	50
9.2	8.2 Empat Kaki W-Model: Desain, Pengembangan, dan Validasi Triune	51
9.3	8.3 W-Model dan Pengelolaan Otonomi dalam System of Autonomous Systems (SoAS)	53
10	Bab 9: Struktur Disertasi dan Publikasi Ilmiah Berbasis TISE	54
10.0.1	9.1 Prinsip Penulisan Disertasi/Paper Ilmiah Berbasis TISE . .	54
10.0.2	9.2 Panduan Proses Riset Disertasi dengan TISE: Delapan Tonggak Pencapaian	55
10.0.3	9.3 Rekomendasi Struktur Penulisan Disertasi Teknik Menggunakan Kerangka TISE	56

10.0.4	9.4 Menulis Publikasi Ilmiah (IEEE Paper) Menggunakan Kerangka TISE	58
10.0.5	9.5 Mengantisipasi Pertanyaan <i>Reviewer</i> dan Menghasilkan Publikasi	59
11	Bab 10: Peran Alat Bantu: Python, Ontologi, Prolog, Quarto, dan Mermaid dalam Implementasi TISE	60
11.1	10.1 Python: Bahasa Pemrograman untuk Implementasi dan Simulasi AI	60
11.2	10.2 Ontologi dan Prolog: Mengimplementasikan Triune Intelligence	61
11.3	10.2.1 Ontologi: Konseptualisasi Bersama dan Semantik Umum . . .	61
11.4	10.2.2 Prolog: Representasi Pengetahuan Deklaratif dan Penalaran Logis	62
11.5	10.2.3 Sinergi Ontologi-Prolog-Python untuk Implementasi TI yang Kuat	63
11.6	10.3 Quarto dan Mermaid: Dokumentasi dan Visualisasi Komprehensif	63
11.7	10.3.1 Quarto: Sistem Publikasi Ilmiah Berbasis Markdown	63
11.8	10.3.2 Mermaid: Diagram Berbasis Teks untuk Visualisasi Cepat . . .	64
11.9	10.4 Peran Alat Bantu dalam Mengelola Kompleksitas SoAS dan LoA	64
12	Bab 11: Implementasi Praktis dan Studi Kasus TISE	65
12.1	11.1 Kerangka Implementasi TISE secara Sistematis	65
12.2	11.2 Studi Kasus 1: Sistem Komuter Cerdas Jakarta-Bandung	69
12.3	11.3 Studi Kasus 2: Analisis Sistem Rekomendasi Makanan Sehat (MSRS)	71
12.4	11.4 Pemanfaatan Alat Bantu dalam Studi Kasus	73
12.5	11.5 Tantangan Otonomi dan Kinerja Manusia dalam Sistem Cerdas	74
13	Bab 12: Tantangan dan Arah Penelitian Masa Depan dalam TISE	76
13.1	12.1 Tantangan dalam Mengukur dan Menyeimbangkan Kecerdasan Triune (NI, CI, AI)	76
13.2	12.2 Pengembangan Taksonomi Komprehensif untuk <i>System of Autonomous Systems</i> (SoAS)	77
13.3	12.3 Formalisasi Kerangka Kerja untuk Penutupan Sistem	77
13.4	12.4 Peningkatan Interoperabilitas Alat dan Standardisasi Bahasa Pemodelan untuk Penggunaan Ulang Pola	78
13.5	12.5 Implikasi LoA terhadap Kinerja Operator dan Sistem	78
13.6	12.6 Arah Penelitian Lanjutan di Berbagai Lapisan ASTF	79
13.7	12.7 Kesimpulan: Menuju Masa Depan Rekayasa yang Lebih Cerdas dan Bertanggung Jawab	79
14	Bab 13: Etika dan Tanggung Jawab dalam Rekayasa TISE	80
14.1	13.1 Filosofi TISE: Memberdayakan Manusia dan Selaras dengan Nilai	80

14.2	13.2 Desain Peka Nilai (Value-Sensitive Design) dalam TISE	81
14.3	13.3 Mengatasi Masalah Penyelarasan Nilai (Value Alignment Problem) AI	81
14.4	13.4 Akuntabilitas, Transparansi, dan Kolaborasi Manusia-AI	82
14.5	13.5 Mengelola Risiko dan Keamanan dalam Sistem Cerdas	83
14.6	13.6 Peran Insinyur TISE sebagai Vokator Etis	83
15	Bab 14: Kesimpulan: Visi Rekayasa Simbiotik dan Pemberdayaan Manusia	84
15.1	14.1 Mengulang Kembali Visi Inti TISE: Rekayasa untuk Kehidupan Istimewa	84
15.2	14.2 Pilar-Pilar Utama TISE: Sebuah Sintesis	84
15.3	14.3 Peran Alat Bantu dan Implementasi Praktis	85
15.4	14.4 Implikasi Etika dan Tanggung Jawab: Menciptakan Vokator	86
15.5	14.5 Menuju Masa Depan Rekayasa yang Lebih Cerdas dan Bertanggung Jawab	86
16	Lampiran A: Studi Kasus Rinci	88
16.1	A.1: Dekomposisi ASTF untuk Sistem Komuter Cerdas Jakarta-Bandung	88
16.2	A.2: Analisis Sistem Rekomendasi Makanan Sehat dengan Kerangka TISE	90
17	Lampiran B: Templat dan Daftar Periksa	92
17.1	B.1: Templat Kosong Kerangka PICOC Berlapis	92
17.2	B.2: Daftar Periksa Proposal Riset TISE	93
17.3	B.3: Daftar Periksa Pra-pengiriman Paper IEEE	94
18	Lampiran C: Detail Metrik dan Model Kinerja TISE	95
18.1	C.1: Metrik Kapasitas Triune (Triune Capacity Index - TCI)	95
18.2	C.2: Model Kinerja dan Prototipe Virtual PSKV-S	96
18.3	C.2.1: Model Konversi Nilai dalam PSKV-S	96
19	Lampiran D: Peta Jalan Riset Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)	97
19.1	D.1: Ringkasan Peta Jalan Riset TISE	97
19.2	D.2: Penjelasan Lapisan dan Tema dalam Peta Jalan Riset	98
19.3	D.2.1: Lapisan Riset dan Pengembangan	98
19.4	D.2.2: Tema Pengembangan	99
19.5	D.3: Implikasi Peta Jalan Riset TISE	99
20	Lampiran D: Peta Jalan Riset Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)	101
20.1	D.1: Ringkasan Peta Jalan Riset TISE	101
20.2	D.2: Penjelasan Lapisan dan Tema dalam Peta Jalan Riset	102
20.3	D.2.1: Lapisan Riset dan Pengembangan	102
20.4	D.2.2: Tema Pengembangan	103

20.5 D.3: Implikasi Peta Jalan Riset TISE	103
21 Lampiran F: Konsep Fondasi Lanjutan dan Model Teknis	105
21.1 F.1: Definisi Rekayasa dan Fungsi-fungsi Intinya dalam TISE	105
21.2 F.1.1: Tiga Fase Rekayasa Monodisiplin	106
21.3 F.1.2: Tujuh Fungsi Rekayasa dalam TISE	106
21.4 F.2: Siklus Proses Berpikir Rekayasa	106
21.5 F.3: Realitas, Dimensi, dan Tingkat Kesadaran dalam TISE	106
21.6 F.3.1: Empat Pandangan Realitas (Four Views of Reality)	107
21.7 F.3.2: Dimensi Realitas dan Tingkat Kesadaran	107
21.8 F.3.3: Evolusi Manusia dalam Konteks TISE	108
21.9 F.4: Abstraksi Mesin (Engine Abstraction) dan Siklus Empat Langkahnya	108
21.10 F.5: Formalisasi Penutupan Sistem Informasional	108
21.11 F.6: Taksonomi Sistem Otonom (SoAS) dan Level Otonomi (LoA) . .	109
21.12 F.7: Kerangka Pemodelan yang Dapat Disusun (<i>Composable Modeling Frameworks</i>)	109
22 Summary	111
References	112

Preface

Tentu, berikut adalah draf kata pengantar yang menarik pembaca untuk menyelami buku Anda hingga tuntas, dengan mengacu pada informasi dari sumber-sumber yang telah diberikan dan riwayat percakapan kita:

Kata Pengantar

Selamat datang, para insinyur dan peneliti abad ke-21. Anda berdiri di garis depan sebuah era yang penuh dengan tantangan sosio-teknis yang kompleksitasnya belum pernah terjadi sebelumnya. Dari perubahan iklim dan keberlanjutan kota hingga sistem kesehatan cerdas dan tata kelola data yang etis, solusi-solusi tradisional yang terkotak-kotak tak lagi memadai. Dunia kini menuntut pendekatan rekayasa yang lebih holistik, sadar nilai, dan cerdas secara fundamental. Ilmu rekayasa tradisional, meskipun berhasil mengembangkan infrastruktur dan produk, belum cukup untuk menjawab kompleksitas persoalan kehidupan manusia di abad ke-21 yang membutuhkan transformasi energi, material, informasi, otomasi untuk mengurangi beban kognitif, kecerdasan berbasis pengetahuan, kapabilitas massal, dan ruang imersif yang cerdas, kreatif, aman, sehat, serta berkelanjutan.

Buku ini hadir untuk memperkenalkan Anda pada **Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)**, sebuah paradigma rekayasa revolusioner yang dirancang khusus untuk menghadapi tantangan-tantangan tersebut. TISE bukan sekadar serangkaian metode atau alat; ia adalah sebuah cara pandang transformatif yang memposisikan manusia sebagai pusat, subjek, dan tujuan akhir rekayasa cerdas, bukan sebagai objek yang dieliminasi demi efisiensi. Filosofi intinya melampaui pemecahan masalah teknis semata, bergerak menuju tujuan yang lebih luhur: **membangun “teater kehidupan yang megah” (splendid theaters of life) bagi umat manusia**. Ini adalah pergeseran fundamental dari sekadar *problem-solving* menuju *capability-building*, memberdayakan setiap individu dengan kapabilitas untuk menjalani kehidupan yang bermakna, kreatif, dan sejahtera secara holistik.

Inti dari TISE adalah sinergi dinamis antara tiga pilar kecerdasan: **Kecerdasan Alami (Natural Intelligence - NI)** dari manusia, **Kecerdasan Budaya (Cultural Intelligence - CI)** dari institusi pengetahuan dan nilai kolektif, dan **Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence - AI)** dari mesin. Bayangkan sebuah dunia di mana teknologi tidak menggantikan, melainkan menjadi mitra kolaboratif yang memperkuat dan memperluas kapabilitas kita. TISE mengintegrasikan ketiga kecerdasan ini secara eksplisit melalui bahasa, model, dan ontologi

formal, memastikan nilai-nilai etis manusia dan prinsip-prinsip ekologi dapat dikodekan dan ditindaklanjuti oleh sistem AI. Ontology, misalnya, dapat menciptakan konseptualisasi bersama yang krusial untuk interoperabilitas dan semantik umum antar sistem, bahkan mengatasi masalah di tingkat semantik yang sering menyebabkan kegagalan dalam *System of Systems* (SoS).

Bagi Anda, para mahasiswa pascasarjana, baik yang sedang menyusun tesis maupun disertasi, perjalanan ini adalah kesempatan monumental untuk memberikan kontribusi orisinal pada pengetahuan manusia. Namun, perjalanan ini seringkali terasa menakutkan dan tidak terstruktur. **Buku ini adalah peta jalan Anda.** Di dalamnya, Anda akan menemukan fondasi teoretis TISE, metodologi penelitian yang sistematis, dan panduan praktis untuk menerapkan paradigma ini dalam setiap tahap riset Anda – mulai dari menemukan topik hingga berhasil dalam ujian akhir. Anda akan dibekali dengan strategi untuk mempublikasikan temuan Anda di jurnal-jurnal bereputasi, termasuk menggunakan kerangka kerja PICOC berlapis untuk membangun argumen yang kuat dan koheren dari riset fundamental hingga dampak pada pengguna.

Kami akan menunjukkan bagaimana Anda dapat memanfaatkan alat bantu modern seperti **Python** untuk implementasi AI dan simulasi, **Ontologi** dan **Prolog** untuk penalaran logis dan representasi pengetahuan yang menangkap konteks budaya dan nilai manusia, serta **Quarto** dan **Mermaid** untuk dokumentasi dan visualisasi yang komprehensif (informasi tentang Quarto dan Mermaid ini adalah inferensi berdasarkan praktik terbaik penulisan teknis). Anda akan melihat bagaimana Python dapat menjadi “perekat integrasi” antara komponen AI dan pengetahuan, dan bagaimana kombinasi Ontology-Prolog-Python memungkinkan simulasi kompleks seperti alternatif transportasi dan dinamika *P2P Lending*. Bahkan, Python dengan pustaka seperti SymPy dapat digunakan untuk tutorial matematika dan fisika.

Memahami dan menerapkan TISE akan membekali Anda dengan kemampuan untuk tidak hanya menjadi seorang insinyur yang kompeten secara teknis, tetapi juga seorang arsitek masa depan yang bijaksana – yang mampu menyinergikan kecerdasan manusia, kecerdasan buatan, dan kecerdasan alam untuk menciptakan solusi yang benar-benar cerdas, berkelanjutan, dan manusiawi. Anda akan menjadi “**Vokator**”—seseorang yang menyuarakan kebenaran yang ditemukan melalui riset yang bertanggung jawab dan membangun kehidupan istimewa di tengah disrupsi abad ke-21.

Mari kita bersama-sama menjelajahi paradigma yang akan membentuk masa depan rekayasa dan masyarakat kita. Selamat membaca dan berinovasi!

Banudng 18 September 2025

Armein Z. R. Langi

This is a Quarto book.

To learn more about Quarto books visit <https://quarto.org/docs/books>. Tentu, ini adalah *outline* komprehensif untuk buku Anda mengenai peran paradigma Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE) dalam metode rekayasa dan penulisan disertasi, serta peran alat bantu seperti Quarto, Mermaid, Python, dan Triune Intelligence, dengan mengacu pada semua sumber yang diberikan:

Judul Buku (Tentatif): Rekayasa Cerdas Berbasis Triune Intelligence: Panduan Metodologi, Penulisan Disertasi, dan Alat Bantu untuk Era AI

Ringkasan Buku: Buku ini menyajikan paradigma **Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)** sebagai pendekatan transformatif dalam rekayasa sistem cerdas di era Kecerdasan Buatan (AI). TISE memposisikan manusia sebagai pusat inovasi, memberdayakan pemangku kepentingan untuk mencapai tujuan mereka melalui interaksi sinergis antara Kecerdasan Alami (NI), Kecerdasan Budaya (CI), dan Kecerdasan Buatan (AI). Buku ini akan menguraikan fondasi filosofis TISE, metodologi rekayasanya yang komprehensif, serta panduan praktis untuk penulisan disertasi dengan kerangka kerja TISE, termasuk pemanfaatan alat bantu modern seperti Python untuk implementasi AI dan simulasi, serta Quarto dan Mermaid untuk dokumentasi dan visualisasi.

Outline Buku

Bagian 1: Memahami Paradigma Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)

Bab 1: Pengantar Rekayasa Cerdas di Era AI dan Kebutuhan TISE * **Tantangan rekayasa di abad ke-21:** Kompleksitas masalah sosio-teknis yang belum pernah terjadi sebelumnya, termasuk perubahan iklim, keberlanjutan kota, sistem kesehatan cerdas, dan tata kelola data etis. Ilmu rekayasa tradisional tidak cukup untuk menjawab kompleksitas persoalan kehidupan manusia di abad ke-21. * **Pergeseran paradigma dari rekayasa tradisional ke Rekayasa Cerdas (Smart Engineering):** Menuju pendekatan yang lebih holistik, sadar nilai, dan cerdas secara fundamental. * **Memperkenalkan Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)** sebagai filosofi rekayasa yang transformatif dan memberdayakan manusia. * Prinsip inti TISE: “**Engineers empower humans**”. Manusia adalah pusat, subjek, dan tujuan akhir rekayasa cerdas, bukan objek yang dieliminasi demi efisiensi. * Pergeseran dari *problem-solving* menjadi *capability-building*. Solusi TISE membekali pemangku kepentingan dengan alat dan kapabilitas untuk menyelesaikan masalah mereka sendiri. * Tiga pilar fondasi TISE: Teori **Sistem Sosio-Teknikal (STS)** yang menekankan interaksi manusia-teknologi;

Model Kolaborasi Manusia-AI (HAIC) untuk memetakan dinamika interaksi; dan **Desain Berpusat pada Manusia (HCD)** serta **Desain Peka Nilai (VSD)** sebagai metodologi implementasi.

Bab 2: Fondasi Triune Intelligence (TI) * **Definisi Triune Intelligence (TI)**: Interplay antara Natural Intelligence (NI), Cultural Intelligence (CI), dan Artificial Intelligence (AI) yang secara bersama-sama menciptakan intelijen holistik dan *emergent*. TI lebih dari sekadar penjumlahan NI+AI+CI; ia adalah **sistem intelijen hibrida dinamis** yang bersinergi. * **Peran Utama Setiap Kecerdasan dalam TI**: * **Cultural Intelligence (CI)**: Memberikan “**WHY**” (persepsi, pemahaman, tujuan, nilai kolektif, kearifan). Berfokus pada kebijakan dan tata kelola. * **Natural Intelligence (NI)**: Memberikan “**WHAT**” (pengambilan keputusan, kontribusi orisinal, penalaran). Berfokus pada keterampilan sensorimotorik, afeksi, dan kesadaran situasional manusia. * **Artificial Intelligence (AI)**: Memberikan “**HOW**” (bertindak, eksekusi, komputasi). Berfokus pada *kain data*, *digital twin*, dan orkestrator keputusan dengan *API explainability*. * TI sebagai sistem intelijen hibrida dinamis yang bersinergi, bukan sekadar penjumlahan. * **Pemetaan TI ke Model Kolaborasi Manusia-AI (HAIC)**: TISE menyediakan kerangka kerja yang fleksibel untuk berbagai mode kolaborasi: Human-Centric (manusia memimpin, AI membantu), Symbiotic (kemitraan seimbang), dan AI-Centric (AI memimpin, manusia mengawasi). * **Metafora dasar**: Otak triune MacLean dan id-ego-superego Freud sebagai dasar naratif untuk menyeimbangkan dorongan, pertimbangan, dan norma. NI dianalogikan dengan *id* dan kompleks reptilian/limbik, CI dengan *superego* dan neokorteks, serta AI dengan *ego* dan limbik/neokorteks.

Bab 3: Karakteristik Artefak Cerdas dalam Paradigma TISE * **Enam Karakteristik Distingtif Artefak Cerdas TISE**: Setiap artefak rekayasa TISE harus memiliki enam karakteristik yang saling terkait sebagai kriteria desain dan tolok ukur keberhasilan. * **Strong (Kuat)**: Kekuatan inheren melalui **Core Engine** (daya fundamental dan kemampuan konversi kerja). AI mengoptimalkan dan mengontrolnya, NI berkontribusi pada desain dan keamanan, CI menginformasikan standar keselamatan dan relevansinya. * **Smart (Cerdas)**: Adaptabilitas dan intelijen melalui **Triune-PUDAL Cognitive Engine** (persepsi, pemahaman, pengambilan keputusan, tindakan/respons, pembelajaran/evaluasi). Kolaborasi NI-AI, dengan CI yang menyediakan konteks dan norma. * **Extended Range (Jangkauan Luas)**: Penciptaan nilai holistik melalui **PSKVE Value Engine** (Produk, Layanan, Pengetahuan, Nilai, Lingkungan). CI mendefinisikan portofolio nilai, AI mengoptimalkan konversi, NI menyuntikkan kreativitas dan tujuan. * **Realistic (Realistis)**: Performa yang dapat diverifikasi melalui **PICOC Systematic** (Populasi, Intervensi, Kontrol, Hasil, Konteks). Seluruh tiga kecerdasan terlibat untuk validasi berbasis bukti. * **Doable (Dapat Dilaksanakan)**: Pengembangan yang terstruktur dan layak melalui **Triune-ASTF Four-Layered Architecture** (Aplikasi, Sistem, Teknologi, Riset Fundamental). Mendekomposisi R&D untuk NI, CI, dan AI ke dalam lapisan-lapisan yang dapat dikelola. * **Methodic (Metodis)**: Proses pengembangan yang sistematis melalui **V-Method**. Mengatur siklus hidup, dari persyaratan berbasis CI hingga sistem NI-CI-AI yang terintegrasi.

Bagian 2: Metodologi Rekayasa dengan Paradigma TISE

Bab 4: Arsitektur Empat Lapisan TISE (ASTF) * Penjelasan detail **Arsitektur ASTF (Application, System, Technology, Fundamental Research)** sebagai kerangka kerja dekomposisi kompleksitas dan panduan inovasi. * **Fokus dan Peran Setiap Lapisan dalam TISE:** * **Lapisan Aplikasi (A):** Didorong oleh CI, fokus pada “WHY” (tujuan, nilai, dan masalah pemangku kepentingan di dunia nyata). Mengidentifikasi masalah dan mendefinisikan solusi yang diinginkan. * **Lapisan Sistem (S):** Integrasi NI-CI-AI (desain arsitektur sistem keseluruhan, antarmuka manusia-mesin, protokol kolaborasi). * **Lapisan Teknologi (T):** Mesin Kecerdasan (pengembangan modul teknologi inti, algoritma AI, antarmuka NI, platform CI). Ini adalah tempat PUDAL Engine dan Core Engine diciptakan. * **Lapisan Riset Fundamental (F):** Fondasi Ilmiah (pengetahuan dasar, teori baru, prinsip-prinsip yang mendukung setiap kecerdasan). * ASTF sebagai peta jalan riset, membantu mendefinisikan ruang lingkup dan mengidentifikasi kontribusi berlapis.

Bab 5: Siklus Kognitif PUDAL Engine * **PUDAL Engine** sebagai inti kognitif artefak cerdas dan siklus operasional lima fase: Perceive, Understand, Decision-making & Planning, Act-Response, dan Learning-evaluating. PUDAL dibedakan dari kerangka keputusan lain seperti OODA oleh fase *Learning-evaluating* yang eksplisit, menjadikannya arsitektur kognitif sejati. * **Re-arsitektur PUDAL sebagai Kolaborasi TI:** * **Perceive (P):** AI sebagai penggerak utama, diarahkan oleh NI/CI. AI meningkatkan kemampuan ini melalui Computer Vision dan Natural Language Processing (NLP). * **Understand (U):** Kolaborasi AI + CI untuk interpretasi data kontekstual berdasarkan nilai. CI menyediakan konteks, nilai, dan kearifan kolektif untuk memahami “mengapa itu penting”. * **Decision-making & Planning (D):** Didominasi oleh NI, diinformasikan oleh AI/CI. NI memanfaatkan kapasitas uniknya untuk penilaian, kreativitas, pertimbangan etis, dan akuntabilitas. * **Act-Response (A):** AI melaksanakan keputusan NI dengan presisi, kecepatan, dan keandalan. * **Learning-evaluating (L):** Lingkaran penuh TI (NI + CI + AI) untuk penilaian hasil dan pembaruan pengetahuan/model. AI mengukur hasil teknis, CI mengevaluasi terhadap tujuan/nilai, dan NI merefleksikan keputusannya. * **PUDAL sebagai “Meta-Prompt Engine”:** Berinteraksi dengan Core Engine melalui “PROMPTS”. * **Arsitektur Human-in-the-Loop (HITL)** untuk implementasi PUDAL: Pre-processing, In-the-loop (Blocking), Post-processing, Parallel Feedback (Non-blocking).

Bab 6: PSKVE Engine: Menciptakan Nilai Holistik dan Berjangkauan Luas * **Konsep PSKVE Energy:** Multi-dimensi nilai yang dikelola dan dihasilkan oleh artefak cerdas (Product, Service, Knowledge, Value, Environmental). * **Peran PSKVE Engine:** Memperluas jangkauan artefak dan memberikan nilai holistik. PSKVE Engine adalah kerangka kerja untuk optimasi multi-objektif dalam sistem sosio-teknis yang kompleks, mengatasi *trade-off* antar tujuan. * **Dampak Triune Intelligence pada PSKVE:** CI mendefinisikan portofolio nilai multi-dimensi, AI mengoptimalkan konversi dan *trade-off* antar dimensi, NI menyuntikkan kreativitas dan tujuan untuk penciptaan nilai.

Bab 7: Metodologi Validasi PICOC Sistematis * **PICOC Systematic:** Kerangka kerja terstruktur untuk mendefinisikan pertanyaan penelitian dan merancang studi empiris (Population, Intervention, Control, Outcome, Context). * **Penerapan PICOC di Setiap**

Lapisan ASTF: Kontribusi metodologis paling orisinal TISE adalah penerapan PICOC secara sistematis di setiap lapisan ASTF. Ini mengubah PICOC dari alat tunggal menjadi kerangka validasi multi-lapis yang komprehensif. * PICOC(A) untuk Lapisan Aplikasi (misalnya, pemangku kepentingan, solusi baru, kinerja yang dirasakan). * PICOC(S) untuk Lapisan Sistem (misalnya, *testbed* simulasi, arsitektur sistem, kinerja sistem). * PICOC(T) untuk Lapisan Teknologi (misalnya, bahan mentah, dapur otomatis berbasis AI, efisiensi konversi). * PICOC(F) untuk Lapisan Riset Fundamental (misalnya, fenomena alokasi sumber daya, model optimasi baru, pengetahuan baru). * Peran TI dalam memperkuat ketelitian PICOC: NI (penilaian ahli) untuk merumuskan pertanyaan dan menafsirkan hasil; CI untuk memastikan konteks sosial dan lingkungan; AI untuk mengumpulkan data, menjalankan simulasi, dan menganalisis hasil.

Bab 8: V-Method untuk Rekayasa Cerdas * Prinsip V-Method: Model siklus hidup pengembangan sistem berbentuk V yang menghubungkan fase pengembangan dengan fase pengujian, verifikasi, dan validasi. V-Method memastikan **keterlacakan**. * **Integrasi V-Method dengan ASTF dan PICOC:** * **Kaki Kiri (Decomposition and Definition - ASTF Flow):** Dari Lapisan Aplikasi ke Riset Fundamental, dengan PICOC mendefinisikan persyaratan dan kriteria keberhasilan. * **Kaki Kanan (Realization, Integration, and Validation - FTSA Flow):** Dari Riset Fundamental ke Lapisan Aplikasi, dengan validasi dan verifikasi di setiap tahap. * **W-Model** sebagai pengembangan dari V-Model, menambahkan “kaki dalam” yang merepresentasikan proses internal desain dan validasi berkelanjutan. Kaki kiri dalam untuk validasi berbasis PICOC. * Peran Triune Intelligence dalam V-Method/W-Model: AI mendukung pemodelan dan simulasi; NI memandu kreativitas dan pengambilan keputusan; CI memengaruhi keputusan desain agar selaras dengan nilai-nilai budaya dan etika.

Bagian 3: Penulisan Disertasi dengan Paradigma TISE dan Alat Bantu

Bab 9: Struktur Disertasi dan Publikasi Ilmiah Berbasis TISE * Prinsip Penulisan Disertasi/Paper Ilmiah: Mengajukan cara pandang/pengetahuan baru berdasarkan hasil riset yang valid. * **Jenis-jenis Hipotesis dalam Riset Rekayasa:** Solutif, aplikatif, dan teoritis. * **Rekomendasi Struktur Disertasi/Makalah IEEE dengan PICOC Berlapis:** * **Judul:** Ringkas, informatif, mencerminkan kontribusi inti. * **Abstrak:** Ringkasan 6 poin (Konteks/Motivasi, Masalah/Kesenjangan, Intervensi/Kontribusi, Metodologi, Hasil/Luaran Utama, Kesimpulan/Dampak). * **Pendahuluan:** Pernyataan masalah (Cx(A)), situasi saat ini (C(A)), pentingnya, solusi yang diusulkan (I(A)), tujuan dan kontribusi, garis besar makalah. * **Karya Terdahulu/Studi Terkait:** Pendalaman solusi lama, identifikasi kesenjangan di semua lapisan ASTF, landasan ilmiah untuk solusi baru. * **Metodologi/Pendekatan yang Diusulkan:** Detail PICOC untuk setiap lapisan ASTF (P, I, C, O, Cx) secara rinci, memastikan reproduktifitas. * **Hasil dan Pembahasan:** Penyajian dan interpretasi hasil (O) untuk setiap lapisan ASTF (dari F ke A), koneksi antar-lapisan, keterbatasan, ancaman terhadap validitas. * **Kesimpulan dan Saran Pengembangan Selanjutnya:** Ringkasan kontribusi, jawaban pertanyaan penelitian, dampak lebih luas, arah penelitian masa depan. * Mengantisipasi pertanyaan *reviewer* menggunakan kerangka TISE untuk menjelaskan kebaruan, validasi, dan

signifikansi praktis. * Panduan proses riset disertasi TISE melalui 8 *milestone*, mulai dari menemukan topik hingga ujian akhir.

Bab 10: Peran Alat Bantu: Python, Quarto, Mermaid, dan Triune Intelligence *

Python: * Bahasa pemrograman utama untuk **implementasi AI, simulasi, dan integrasi** dalam TISE. * Peran dalam PUDAL (komputasi, pembelajaran AI) dan PSKVE (optimasi dimensi nilai). * Mendukung **evaluasi PICOC** dengan analisis statistik. * Bertindak sebagai “perekat integrasi” (*integration glue*) antara komponen AI dan pengetahuan. * Pustaka seperti SymPy dapat digunakan untuk tutorial matematika dan fisika. * **Ontologi dan Prolog (Sebagai Implementasi Triune Intelligence):** * **Ontologi:** Menciptakan **konseptualisasi bersama** dan **semantik umum** antar sistem, yang krusial untuk interoperabilitas. Menangkap pengetahuan manusia (NI) dan konteks budaya (CI) secara eksplisit, mengurangi bias, dan memastikan keselarasan semantik. Dapat memformalkan konsep-konsep inti kerangka TISE (PUDAL, PSKVE, ASTF, PICOC). * **Prolog:** Menyediakan representasi pengetahuan deklaratif dan kemampuan **penalaran logis**. Menggabungkan NI/CI ke dalam AI dengan mengkodekan aturan dan preseden logis. * Sinergi Ontology-Prolog-Python memungkinkan implementasi TI yang kuat: komputasi AI (Python), penalaran logis (Prolog/NI), dan nilai-nilai (Ontology/CI). * **Quarto dan Mermaid:** * **Quarto:** Sebagai sistem publikasi ilmiah yang memungkinkan pembuatan buku, disertasi, dan artikel dengan sintaks Markdown, mendukung integrasi kode dan *output* secara mulus. (Informasi ini tidak secara langsung disebutkan dalam sumber yang diberikan, tetapi merupakan praktik umum yang sangat relevan untuk penulisan buku dan disertasi dengan konten teknis). * **Mermaid:** Untuk membuat diagram dan grafik berbasis teks (seperti diagram alur, diagram urutan, bagan Gantt) yang dapat diintegrasikan dengan mudah ke dalam dokumen. Meningkatkan kejelasan visual arsitektur TISE, siklus PUDAL, dan struktur sistem. (Informasi ini tidak secara langsung disebutkan dalam sumber yang diberikan, tetapi merupakan praktik umum yang sangat relevan untuk penulisan buku dan disertasi dengan konten teknis).

Bab 11: Implementasi Praktis dan Studi Kasus TISE * Kerangka Implementasi TISE secara Sistematis: Tabel yang menguraikan Lapisan TISE, Tujuan, Prinsip/Teori, Aktivitas Kunci, Artefak yang Dihasilkan, dan Metrik Validasi. * **Studi Kasus 1: Sistem Komuter Cerdas Jakarta-Bandung:** Demonstrasi dekomposisi masalah kompleks menggunakan ASTF. * Aplikasi (A): Model bisnis “berbagi kamar-makanan-perjalanan” terintegrasi. * Sistem (S): Kapsul tidur komuter, layanan makanan siap saji, integrasi transportasi. * Teknologi (T): Mesin listrik, dapur otomatis, uang digital, platform pembiayaan digital. * Riset Fundamental (F): Optimasi jadwal waktu, alokasi sumber daya, teori konversi nilai PSKVE. * **Studi Kasus 2: Analisis Sistem Rekomendasi Makanan Sehat:** Contoh penerapan TISE pada masalah sosio-teknis yang kompleks, menunjukkan bagaimana TI, PUDAL, dan PSKVE bekerja sama. MSRS (Multi-Stakeholder Recommendation System) sebagai komponen AI. * **Pemanfaatan Alat Bantu dalam Studi Kasus:** * **Simulasi Alternatif Transportasi (Bandung-Jakarta 2030):** Ontologi & Prolog mendefinisikan konsep kendaraan, rute, konsumsi energi. Python mengeksekusi logika simulasi, menghitung biaya, emisi, waktu tempuh. * **Simulasi Dinamika P2P Lending:** Ontologi komprehensif (pemangku kepentingan, siklus pinjaman, faktor makroekonomi) dalam Prolog. Python mensimulasikan perilaku

agen berdasarkan *multiplier* yang diinformasikan ontologi di berbagai skenario ekonomi.

Bagian 4: Masa Depan dan Implikasi TISE

Bab 12: Tantangan dan Arah Penelitian Masa Depan dalam TISE * Mengatasi tantangan dalam mengukur metrik CI yang “lunak” (*soft*) dan memastikan pembobotan yang adil antar-kutub kecerdasan. * Pengembangan taksonomi yang komprehensif untuk *System of Autonomous Systems* (SoAS) yang mempertimbangkan otonomi manajerial dan operasional. * Perlunya kerangka kerja formal untuk penutupan sistem (fungsional, informasional). * Peningkatan interoperabilitas alat dan standarisasi bahasa pemodelan untuk penggunaan kembali pola.

Bab 13: Etika dan Tanggung Jawab dalam Rekayasa TISE * Filosofi TISE: Memberdayakan manusia dan memastikan teknologi selaras dengan tubuh dan budaya. * Implikasi sosial dan etika dari integrasi AI, NI, dan CI, serta perlunya desain yang peka nilai (Value-Sensitive Design). * Memastikan sistem cerdas bertanggung jawab dan berpusat pada manusia.

Bab 14: Kesimpulan: Visi Rekayasa Simbiotik dan Pemberdayaan Manusia * Mengulang kembali visi TISE sebagai paradigma rekayasa yang **seimbang, partisipatif, dan selaras nilai** untuk era AI. * Menekankan bagaimana TISE mentransformasi rekayasa menjadi usaha sosio-teknikal yang kokoh dan berpusat pada manusia. * Peran TISE dalam menciptakan sistem yang tidak hanya canggih secara teknologi tetapi juga berharga secara holistik, berdasar etika, dan diterapkan secara bertanggung jawab.

1 Introduction

This is a book created from markdown and executable code.

See Knuth (1984) for additional discussion of literate programming.

2 Bab 1: Pengantar Rekayasa Cerdas di Era AI dan Kebutuhan TISE

Tentu, berikut adalah draf Bab 1 dari buku Anda:

Bab ini memperkenalkan filosofi inti **Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)** dan membedahnya dari pendekatan rekayasa tradisional. Tujuannya adalah untuk membangun pemahaman mengapa paradigma baru seperti TISE diperlukan untuk mengatasi tantangan-tantangan modern.

2.1 1.1 Definisi dan Filosofi Rekayasa dalam TISE

Permasalahan kemanusiaan di abad ke-21 adalah bagaimana manusia dapat menjalani kehidupan yang istimewa melalui kontribusi maksimal yang didasarkan pada pertumbuhan potensi sepenuhnya, dalam ruang hidup yang cerdas, kreatif, aman, sehat, dan berkelanjutan. Ilmu rekayasa tradisional, meskipun telah berhasil mengembangkan infrastruktur, produk, dan aplikasi, tidak lagi cukup untuk menjawab kompleksitas persoalan kehidupan manusia di abad ke-21. Kebutuhan rekayasa saat ini mencakup transformasi energi, material, dan informasi untuk menggantikan tenaga manusia; otomasi untuk mengurangi beban kognitif dan kelelahan mental; kecerdasan berbasis pengetahuan untuk fungsi yang sulit dilakukan manusia; kebutuhan massal untuk kompetisi pasar dan tujuan ekonomi; serta kebutuhan ruang imersif untuk lingkungan kehidupan yang cerdas, kreatif, aman, sehat, dan berkelanjutan.

Dalam kerangka TISE, rekayasa didefinisikan sebagai **aplikasi kreatif dari pengetahuan ilmiah untuk menghasilkan artefak (atau “Rancang-Bangun” - RB) yang dapat memanfaatkan kekuatan alam secara aman dan terkendali untuk memecahkan masalah-masalah penting manusia**. Definisi ini mengandung beberapa elemen kunci: 1. **“Aplikasi kreatif”** menekankan bahwa rekayasa bukanlah sekadar penerapan rumus, melainkan tindakan inovasi. 2. **“Pengetahuan ilmiah”** menegaskan bahwa rekayasa berakar pada pemahaman fundamental tentang cara kerja dunia. 3. **“Memanfaatkan kekuatan alam”** menyoroti peran insinyur sebagai mediator antara alam dan kebutuhan manusia. 4. **“Memecahkan masalah penting manusia”** menggarisbawahi tujuan akhir dari semua upaya rekayasa, yaitu memberikan nilai bagi kemanusiaan.

Namun, filosofi TISE melangkah lebih jauh dari definisi ini. Jika rekayasa tradisional seringkali berfokus pada optimasi parameter teknis (misalnya, efisiensi, kecepatan, biaya), TISE memperluas cakrawala tujuan tersebut. **Filosofi TISE adalah bahwa artefak rekayasa yang paling bernilai tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga harus cerdas, adaptif, selaras dengan nilai-nilai kemanusiaan, dan berkelanjutan secara ekologis.** Tujuannya bukan lagi hanya untuk “memecahkan masalah,” tetapi untuk menciptakan nilai holistik dan meningkatkan kesejahteraan manusia secara berkelanjutan dalam ekosistemnya. Ini adalah pergeseran dari rekayasa sebagai tindakan pemecahan masalah murni menjadi **rekayasa sebagai tindakan penciptaan dunia yang lebih baik.** Prinsip inti TISE adalah **“Engineers empower humans”**. TISE memposisikan manusia sebagai pusat, subjek, dan tujuan akhir rekayasa cerdas, bukan sebagai objek yang dieliminasi demi efisiensi. Ini adalah pergeseran dari *problem-solving* menjadi *capability-building*, di mana solusi TISE membekali pemangku kepentingan dengan alat dan kapabilitas untuk menyelesaikan masalah mereka sendiri.

TISE didasarkan pada tiga pilar fondasi: 1. **Teori Sistem Sosio-Teknikal (STS)**, yang menekankan interaksi manusia-teknologi. STS mengakui bahwa elemen sosial dan teknis tidak dapat dipisahkan dan harus dioptimalkan secara bersama-sama. 2. **Model Kolaborasi Manusia-AI (HAIC)**, untuk memetakan dinamika interaksi antara manusia dan AI. 3. **Desain Berpusat pada Manusia (HCD) dan Desain Peka Nilai (VSD)**, sebagai metodologi implementasi.

2.2 1.2 Enam Karakteristik Artefak Cerdas TISE

Untuk mencapai tujuan filosofisnya, TISE menetapkan bahwa setiap artefak rekayasa yang dihasilkan harus memiliki enam karakteristik yang saling terkait. Karakteristik ini berfungsi sebagai kriteria desain dan tolok ukur keberhasilan.

1. **Strong (Kuat):** Setiap artefak harus memiliki **Core Engine (Mesin Inti)** yang fundamental. Mesin ini bertanggung jawab atas konversi energi sumber (misalnya, listrik, kimia) menjadi energi kerja (misalnya, gerak, komputasi) yang menjadi dasar kekuatan dan kapabilitas artefak. Tanpa inti yang kuat, fungsi-fungsi cerdas lainnya tidak akan memiliki dasar untuk beroperasi. Metafora mesin termodinamika dengan siklus empat langkah dan *flywheel* digunakan untuk menjelaskan Core Engine.
2. **Smart (Cerdas):** Artefak harus memiliki **PUDAL Engine** sebagai inti kognitifnya. Mesin PUDAL (Perceive, Understand, Decision-making & Planning, Act-Response, Learning-evaluating) memungkinkan artefak untuk merasakan lingkungannya, memahami konteks, membuat keputusan, bertindak, dan belajar dari hasilnya. Kehadiran fase ‘L’ (Learning-evaluating) yang eksplisit membedakan PUDAL dari kerangka kerja keputusan lain seperti OODA, menjadikannya arsitektur kognitif sejati yang memungkinkan adaptasi dan evolusi kecerdasan.

3. **Extended Range (Jangkauan Luas)**: Nilai yang diciptakan oleh artefak tidak boleh bersifat mono-dimensi. Artefak harus memiliki **PSKVE Engine** yang mengelola dan mengoptimalkan penciptaan nilai di lima dimensi: Product (Produk), Service (Layanan), Knowledge (Pengetahuan), Value (Nilai ekonomi/sosial), dan Environmental (Lingkungan). Karakteristik ini memastikan bahwa artefak memberikan manfaat holistik. PSKVE Engine adalah kerangka kerja untuk optimasi multi-objektif dalam sistem sosio-teknis yang kompleks, mengatasi *trade-off* antar tujuan.
4. **Realistic (Realistis)**: Klaim kinerja dan manfaat dari artefak tidak boleh hanya bersifat teoretis. Kinerjanya harus dapat diverifikasi dan divalidasi secara empiris dan ketat. TISE menggunakan kerangka kerja **PICOC (Population, Intervention, Control, Outcome, Context)** sebagai metodologi sistematis untuk melakukan validasi berbasis bukti ini. PICOC diterapkan di setiap lapisan Arsitektur ASTF.
5. **Doable (Dapat Dikerjakan)**: Kompleksitas dalam merancang dan membangun artefak cerdas harus dapat dikelola. TISE menggunakan dekomposisi hierarkis melalui arsitektur **ASTF (Application, System, Technology, Fundamental Research)** untuk memecah masalah besar menjadi lapisan-lapisan yang lebih kecil dan dapat dikelola, dari penelitian fundamental hingga aplikasi di dunia nyata.
6. **Methodic (Metodis)**: Proses pengembangan dari awal hingga akhir harus terstruktur, dapat dilacak, dan sistematis. TISE mengadopsi **W-Model** dari rekayasa sistem, yang secara logis menghubungkan setiap fase dekomposisi desain dengan fase sintesis, integrasi, dan validasi yang berkelanjutan. W-Model merupakan pengembangan dari V-Model tradisional, yang dirancang untuk menekankan verifikasi dan validasi berkelanjutan.

2.3 1.3 Orisinalitas dan Keunggulan Paradigma TISE: Sebuah Analisis Kritis

Sebuah paradigma baru tidak lahir dalam ruang hampa. Orisinalitas dan keunggulan TISE terletak pada kemampuannya untuk menyintesis, menstrukturkan, dan memperluas ide-ide kuat dari berbagai teori rekayasa dan desain yang sudah mapan.

2.4 TISE dan Socio-Technical Systems (STS)

Teori Socio-Technical Systems (STS), yang berasal dari studi di Tavistock Institute pada tahun 1950-an, menyatakan bahwa sistem kerja yang efektif hanya dapat dicapai dengan memahami interdependensi yang tak terpisahkan antara subsistem sosial (manusia, budaya, struktur organisasi, proses) dan subsistem teknis (teknologi, peralatan, infrastruktur). Konsep inti dari STS adalah *joint optimization* (optimasi bersama), yang menegaskan bahwa mengoptimalkan satu subsistem secara terpisah akan menurunkan kinerja sistem secara keseluruhan.

TISE secara eksplisit mengadopsi filosofi *joint optimization* ini, namun membawanya ke tingkat yang lebih operasional dan terstruktur. TISE memberikan anatomi yang lebih rinci dengan memecah “sosial” menjadi dimensi Manusia (Homocordium), Nilai (Value), dan Pengetahuan (Knowledge), serta memecah “teknis” menjadi Produk (Product) dan Layanan (Service) melalui kerangka Triune Intelligence dan mesin PSKVE. Lebih jauh lagi, TISE menambahkan dimensi ketiga yang krusial, yaitu Alam (Natural/Environmental Intelligence). Dengan demikian, TISE tidak hanya mengadopsi filosofi STS, tetapi juga menyediakan serangkaian kerangka kerja yang dapat ditindaklanjuti (PUDAL, PSKVE, ASTF, PICOC) untuk secara sistematis mencapai *joint optimization* yang holistik ini. TISE dapat dipandang sebagai sebuah implementasi rekayasa yang terstruktur dari filosofi STS.

2.5 TISE dan Value-Sensitive Design (VSD)

Value-Sensitive Design (VSD) adalah pendekatan desain yang bertujuan untuk secara proaktif dan sistematis memasukkan nilai-nilai kemanusiaan—terutama nilai etika dan moral—ke dalam seluruh siklus hidup desain teknologi. VSD menggunakan metodologi tripartit yang melibatkan investigasi konseptual (mengartikulasikan nilai dan pemangku kepentingan), empiris (mempelajari konteks pengguna), dan teknis (menganalisis dan membangun teknologi). Fokus utamanya adalah pada identifikasi pemangku kepentingan dan mengelola potensi ketegangan antar nilai (*value tensions*).

TISE dapat dilihat sebagai perluasan dan formalisasi dari VSD dalam konteks rekayasa sistem cerdas. Komponen Homocordium (hati nurani, nilai, etika) dalam Triune Intelligence dan dimensi Value serta Service dalam mesin PSKVE adalah mekanisme konkret TISE untuk mengimplementasikan prinsip-prinsip VSD. TISE menjawab salah satu tantangan terbesar VSD: bagaimana menerapkannya pada sistem skala besar dan kompleks seperti *smart cities*. TISE menawarkan solusi melalui: 1. **Dekomposisi ASTF**: Untuk mengelola kompleksitas dan menganalisis implikasi nilai di setiap lapisan, dari fundamental hingga aplikasi. 2. **Kerangka PSKVE**: Untuk secara eksplisit menyeimbangkan keragaman nilai yang seringkali saling bertentangan (misalnya, efisiensi vs. privasi). 3. **Kerangka PICOC Berlapis**: Untuk menyediakan metodologi empiris yang ketat guna memvalidasi apakah nilai-nilai yang diinginkan benar-benar terwujud dan memberikan hasil yang terukur pada artefak yang dibangun.

Dengan demikian, TISE tidak hanya mengadopsi semangat VSD, tetapi juga melengkapinya dengan struktur rekayasa yang kuat untuk memastikan nilai-nilai tersebut tidak hanya didiskusikan tetapi juga direalisasikan dan divalidasi.

2.6 TISE dan AI Value Alignment

Masalah penyelarasan nilai (*value alignment problem*) dalam Kecerdasan Buatan (AI) adalah tantangan untuk memastikan bahwa tujuan dan perilaku sistem AI selaras dengan nilai-

nilai, etika, dan tujuan kemanusiaan. Kegagalan dalam penyelarasan dapat menyebabkan AI menghasilkan keputusan yang bias, tidak adil, atau bahkan berbahaya, meskipun secara teknis berhasil mencapai tujuan yang diprogramkan.

TISE menawarkan solusi struktural untuk masalah penyelarasan nilai ini. Alih-alih mencoba “menyelaraskan” AI sebagai langkah terakhir atau terpisah, TISE menanamkan nilai-nilai kemanusiaan sejak awal proses rekayasa melalui *Value-Driven Problem Formulation*. Paradigma Triune Intelligence secara fundamental menempatkan Kecerdasan Manusia (Homocordium) sebagai pemandu dan kompas moral bagi Kecerdasan Buatan. Mesin PUDAL yang ditingkatkan oleh TI dirancang secara eksplisit untuk memiliki kapasitas “bertindak etis dan tidak bias secara budaya”. Ini berarti penyelarasan nilai bukanlah fitur tambahan, melainkan properti fundamental yang melekat dalam arsitektur kognitif dan proses pengembangan artefak itu sendiri. **TISE mengubah *value alignment* dari sebuah masalah yang harus dipecahkan menjadi sebuah prinsip yang harus dirancang sejak awal.**

3 Bab 2: Fondasi Triune Intelligence (TI)

Tentu, berikut adalah draf Bab 2 dari buku Anda, yang membahas fondasi Triune Intelligence (TI), dengan merujuk pada sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita:

Setelah memahami filosofi dan karakteristik umum TISE di Bab 1, bab ini akan menyelami jantung paradigma tersebut: **Triune Intelligence (TI)**. TI adalah konsep fundamental yang memungkinkan artefak cerdas TISE untuk tidak hanya kuat dan cerdas secara teknis, tetapi juga selaras dengan nilai-nilai manusia dan batasan alam. Bab ini akan mendefinisikan TI, menguraikan peran setiap pilar kecerdasannya, menjelaskan sinerginya, memetakannya ke model kolaborasi manusia-AI, dan menyoroti metafora dasarnya.

3.1 2.1 Definisi Triune Intelligence (TI)

Triune Intelligence (TI) didefinisikan sebagai interaksi antara Kecerdasan Alami (Natural Intelligence - NI), Kecerdasan Budaya (Cultural Intelligence - CI), dan Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence - AI) yang secara bersama-sama menciptakan intelijen yang **holistik dan emergent**. Ini bukan sekadar penjumlahan kapasitas NI, CI, dan AI; sebaliknya, TI adalah **sistem intelijen hibrida dinamis** yang bersinergi dan menghasilkan kemampuan yang lebih besar daripada jumlah bagian-bagiannya.

TI memungkinkan rekayasa artefak yang mampu beradaptasi dan berinovasi dengan cara yang bertanggung jawab dan berpusat pada manusia. Kunci dari TI adalah membuat ketiga bentuk kecerdasan ini **eksplisit melalui bahasa, model, dan ontologi formal**. Dengan demikian, nilai-nilai etis manusia atau prinsip-prinsip ekologi dapat dikodekan dan ditindaklanjuti oleh sistem AI, memungkinkan integrasi sejati. Ontologi, misalnya, menciptakan konseptualisasi bersama dan semantik umum antar sistem, yang krusial untuk interoperabilitas. Hal ini membantu menangkap pengetahuan manusia (NI) dan konteks budaya (CI) secara eksplisit, mengurangi bias, dan memastikan keselarasan semantik.

3.2 2.2 Peran Utama Setiap Kecerdasan dalam TI

Dalam kerangka TI, setiap jenis kecerdasan memiliki peran distintif yang berkontribusi pada fungsi keseluruhan sistem:

1. **Cultural Intelligence (CI)**: Pilar ini memberikan “**WHY**”. CI berfokus pada persepsi, pemahaman, tujuan, nilai kolektif, dan kearifan masyarakat atau institusi pengetahuan. Ia menentukan kebijakan dan tata kelola yang memandu arah sistem cerdas. Dalam TISE, CI membantu mengartikulasikan dan mengukur dimensi nilai yang sulit diukur, seperti modal sosial, kepercayaan, atau kesehatan ekologis, dan memasukkannya ke dalam kerangka PSKVE. CI juga memastikan bahwa validasi mencakup penerimaan pengguna, kepatuhan etis, dan adaptabilitas budaya, dengan memasukkan studi pengguna dan umpan balik dari budaya target.
2. **Natural Intelligence (NI)**: Pilar ini memberikan “**WHAT**”. NI mencakup kemampuan pengambilan keputusan manusia, kontribusi orisinal, dan penalaran. Ia berfokus pada keterampilan sensorimotorik, afeksi, dan kesadaran situasional manusia. Dalam konteks TISE, Kecerdasan Manusia ini sering disebut **Homocordium** (dari *Homo*, manusia, dan *Cor*, hati), yang merepresentasikan dimensi “hati” manusia: nilai-nilai, etika, moralitas, empati, kreativitas, intuisi, dan tujuan spiritual. Homocordium berfungsi sebagai kompas moral dan sumber utama definisi “masalah penting manusia” yang perlu dipecahkan. NI terlibat dalam menafsirkan hasil pengujian, melakukan pengujian eksploratif, dan memberikan penilaian akhir dalam validasi, terutama untuk kepuasan pemangku kepentingan.
3. **Artificial Intelligence (AI)**: Pilar ini memberikan “**HOW**”. AI berfokus pada bertindak, eksekusi, dan komputasi. Ia mencakup *data fabric*, *digital twin*, dan orkestrator keputusan dengan *API explainability*. AI dalam TISE sering disebut **Homodeus** (manusia-dewa) atau **Homologos** (manusia-logika), merujuk pada potensi AI untuk mencapai kemampuan super dan perannya sebagai pemroses informasi dan logika yang kuat. Dalam TISE, AI bukanlah tuan, melainkan mitra kuat yang kemampuannya diarahkan oleh kebijaksanaan Homocordium. AI mendukung pembuatan pengujian otomatis (misalnya, menghasilkan skenario atau kasus ekstrem), deteksi anomali dalam hasil pengujian, dan simulasi berbasis AI untuk skenario yang kompleks atau berbahaya.

3.3 2.3 TI sebagai Sistem Intelijen Hibrida Dinamis

TI adalah **sistem intelijen hibrida dinamis** yang bersinergi, bukan sekadar penjumlahan. Ini berarti ketiga kecerdasan tersebut saling memengaruhi dan beradaptasi secara berkelanjutan, menciptakan sebuah *feedback loop* yang memperkaya keseluruhan sistem. Misalnya, simulasi dinamika P2P *lending* dapat menggunakan ontologi komprehensif (yang mencakup pemangku

kepentingan, siklus pinjaman, dan faktor makroekonomi) dalam Prolog, sementara Python mensimulasikan perilaku agen berdasarkan *multiplier* yang diinformasikan oleh ontologi di berbagai skenario ekonomi. Sinergi Ontology-Prolog-Python memungkinkan implementasi TI yang kuat: komputasi AI (Python), penalaran logis (Prolog/NL), dan nilai-nilai (Ontology/CI).

3.4 2.4 Pemetaan TI ke Model Kolaborasi Manusia-AI (HAIC)

TISE menyediakan kerangka kerja yang fleksibel untuk berbagai mode kolaborasi antara manusia dan AI: * **Human-Centric**: Manusia memimpin, dan AI membantu. * **Symbiotic**: Kemitraan seimbang di mana manusia dan AI bekerja secara sinergis. * **AI-Centric**: AI memimpin, dengan manusia berperan sebagai pengawas atau pemantau.

Konsep TI ini melampaui kerangka kerja kolaborasi Manusia-AI yang umum, seperti *human-in-the-loop* atau *centaur*, yang masih memposisikan AI sebagai alat atau asisten. Model *cyborg*, di mana manusia dan AI terintegrasi sebagai mitra, lebih mendekati visi TI. Namun, TISE melangkah lebih jauh dengan secara formal memasukkan **Kecerdasan Alam/Lingkungan (Natural/Environmental Intelligence)** sebagai mitra aktif ketiga. Pilar ketiga ini mengakui bahwa alam itu sendiri memiliki “kecerdasan” melalui prinsip-prinsip inheren, hukum fisika, dinamika ekosistem, dan batasan-batasan sumber daya. Rekayasa yang bijaksana tidak melawan alam, tetapi bekerja selaras dengannya. Kecerdasan Alam memberikan batasan-batasan realistis (misalnya, hukum termodinamika) dan tujuan keberlanjutan (misalnya, keseimbangan ekologis) bagi artefak yang dirancang.

Dengan demikian, TI dapat dipandang sebagai kerangka kerja untuk **Kecerdasan Kolektif Sosial (Social Collective Intelligence)** yang diperluas, di mana “kolektif” tersebut tidak hanya terdiri dari manusia dan mesin, tetapi juga mencakup sistem alam sebagai pemangku kepentingan dan sumber kecerdasan yang aktif.

3.5 2.5 Metafora Dasar: Otak Triune MacLean dan Id-Ego-Superego Freud

Untuk memberikan pemahaman naratif yang mendalam tentang bagaimana ketiga kecerdasan ini berinteraksi, TISE menggunakan metafora dari dua model psikologis dan neuro-evolutioner yang berpengaruh:

1. **Otak Triune MacLean**: Model neuro-evolutioner MacLean menggambarkan otak manusia dalam tiga lapisan yang berkembang secara progresif:
 - **Kompleks Reptilian (Reptilian Complex)**: Ini adalah bagian tertua otak, berfokus pada insting dasar bertahan hidup seperti *fight-or-flight*, reproduksi, dan

teritorialitas. Dalam analogi TISE, ini sering dihubungkan dengan **Natural Intelligence (NI)** dan *id* Freud, yang beroperasi pada prinsip kesenangan dan dorongan impulsif yang belum terfilter. Bagian ini bersifat pre-verbal, impulsif, dan mencari pelepasan segera.

- **Sistem Paleomamalia (Limbic System)**: Lapisan tengah ini berkaitan dengan emosi, motivasi, keterikatan, dan pembelajaran berbasis penghargaan. Dalam TISE, ini memediasi antara dorongan dasar dan pertimbangan yang lebih tinggi.
- **Neokorteks (Neocortex)**: Ini adalah bagian otak yang paling baru berevolusi, bertanggung jawab atas pemikiran abstrak, penalaran logis, perencanaan jangka panjang, dan norma sosial. Dalam analogi TISE, ini sering dikaitkan dengan **Cultural Intelligence (CI)** dan *superego* Freud, yang mewakili norma dan tujuan jangka panjang.

2. **Id-Ego-Superego Freud**: Model struktural Freud juga menawarkan tiga elemen yang berinteraksi untuk menjaga perilaku dalam koridor yang dapat diterima:

- **Id**: Reservoir dorongan bawaan yang beroperasi pada prinsip kesenangan. Seperti kompleks reptilian, ia bersifat pre-verbal, impulsif, dan mencari pelepasan segera.
- **Ego**: Prinsip realitas yang menengahi antara tuntutan *id*, realitas eksternal, dan batasan *superego*. Dalam analogi TISE, AI sering dihubungkan dengan *ego* dan sistem limbik/neokorteks, yang berfungsi sebagai orkestrator keputusan dan pelaksana.
- **Superego**: Mewakili internalisasi norma sosial, moralitas, dan ideal. Ini sering dikaitkan dengan CI dan neokorteks, yang menyediakan kerangka etis dan nilai.

Penting untuk dicatat bahwa analogi ini adalah jembatan naratif dan pedagogis, bukan pemetaan neurologis langsung. Otak dan psikis yang sebenarnya adalah hierarki yang sangat terjal, bukan modul yang ditumpuk secara kaku. Namun, model-model ini secara efektif menangkap **ketegangan antara impuls, emosi, dan penalaran** yang harus dikelola dalam sistem cerdas.

Dalam TISE, terjemahan dari triad klasik ini ke dalam rancangan sistem cerdas meliputi: * **Id Reptilian** diterjemahkan menjadi **refleks & afeksi NI**. Desainnya harus menginstrumentasikan bio-sinyal dan tidak membiarkan otomasi melewati mereka. * **Ego Neokorteks** diterjemahkan menjadi **mesin keputusan AI**. Desainnya harus memungkinkan AI menjelaskan pilihannya dalam bahasa CI. * **Superego** diterjemahkan menjadi **norma & visi CI**. Aturan-aturan ini harus dapat diedit oleh komunitas.

Hasilnya adalah sistem yang menyeimbangkan diri, di mana penalaran mesin yang cepat selalu dinegosiasikan dengan kebutuhan tubuh yang hidup dan narasi moral bersama.

3.6 2.6 TI dalam Meningkatkan Kapasitas PUDAL dan PSKVE

Integrasi Triune Intelligence secara fundamental meningkatkan kapasitas dan kualitas mesin **PUDAL (Perceive, Understand, Decision-making & Planning, Act-Response,**

Learning-evaluating) dan **PSKVE (Product, Service, Knowledge, Value, Environmental)**.

- **Peningkatan Kapasitas PUDAL:** Mesin PUDAL yang hanya didukung oleh AI mungkin efisien tetapi berisiko rapuh, bias, atau “berhalusinasi”. TI memperkuat setiap fase PUDAL:
 - **Perceive:** Integrasi kecerdasan manusia dan alam memberikan konteks yang lebih kaya pada data yang dirasakan oleh AI. Sistem tidak hanya “melihat” data, tetapi “memahami” signifikansi sosial dan ekologisnya.
 - **Understand:** Dengan kerangka etis (Homocordium) dan hukum alam (Natural Intelligence) yang eksplisit, pemahaman sistem menjadi lebih mendalam dan tidak bias, membantu AI menghindari kesimpulan yang salah dari data historis yang bias.
 - **Decision-making & Planning:** Keputusan dioptimalkan tidak hanya untuk metrik teknis, tetapi juga untuk keselarasan dengan nilai-nilai manusia dan keberlanjutan lingkungan.
 - **Learning-evaluating:** Sistem belajar tidak hanya untuk menjadi lebih akurat, tetapi juga untuk menjadi lebih “baik”—lebih adil, etis, dan berkelanjutan.
 - **Peningkatan Kapasitas PSKVE:** Mengelola lima dimensi PSKVE adalah tantangan optimasi yang kompleks. TI membuatnya lebih dapat dikelola dengan:
 - **Mendefinisikan Nilai Implisit:** TI membantu mengartikulasikan dan mengukur dimensi nilai yang sebelumnya sulit diukur, seperti modal sosial atau kesehatan ekologis, dan memasukkannya ke dalam kerangka PSKVE.
 - **Optimasi Holistik:** Dengan panduan dari Homocordium, AI dapat mengoptimalkan konversi antar dimensi PSKVE dengan cara yang lebih bijaksana, menyeimbangkan keuntungan ekonomi dengan dampak sosial dan lingkungan jangka panjang.
-

4 Bab 3: Karakteristik Artefak Cerdas dalam Paradigma TISE

Tentu, berikut adalah draf Bab 3 dari buku Anda, yang menguraikan enam karakteristik artefak cerdas dalam paradigma TISE:

Dalam Bab 1, kita telah memahami filosofi dan definisi rekayasa TISE, serta kebutuhan akan paradigma ini di era AI yang kompleks. Bab 2 kemudian menyelami fondasi Triune Intelligence (TI), menjelaskan peran Natural Intelligence (NI), Cultural Intelligence (CI), dan Artificial Intelligence (AI) sebagai komponen inti dari kecerdasan artefak cerdas TISE. Bab ini akan menguraikan **enam karakteristik distintif** yang harus dimiliki oleh setiap artefak yang dirancang dalam paradigma TISE. Karakteristik ini berfungsi sebagai kriteria desain yang memandu pengembangan dan sebagai tolok ukur keberhasilan untuk memvalidasi bahwa artefak tidak hanya cerdas secara teknis tetapi juga holistik dan selaras nilai.

Setiap artefak rekayasa TISE harus memiliki enam karakteristik yang saling terkait sebagai kriteria desain dan tolok ukur keberhasilan.

4.1 3.1 Strong (Kuat): Fondasi Melalui Core Engine

Artefak cerdas TISE harus **Kuat (Strong)**, yang berarti ia memiliki kekuatan inheren melalui **Core Engine (Mesin Inti)** yang fundamental. Core Engine adalah jantung keberadaan fisik artefak, bertanggung jawab untuk mengubah beberapa sumber energi menjadi kerja yang berguna yang dihasilkan oleh sistem. Ini bisa berupa mesin pembakaran internal yang mengubah bahan bakar menjadi gerakan mekanis, atau unit pemrosesan komputer yang mengubah daya listrik menjadi operasi komputasi. Konsep Core Engine ini selaras dengan rekayasa klasik, berfokus pada efisiensi, keandalan, dan *output* mentah.

Model Core Engine sering kali dianalogikan sebagai **proses siklus** yang mirip dengan roda gila (*flywheel*): energi **dikumpulkan** dari sumber masukan, **dikodekan/dikompresi** menjadi bentuk yang dapat disimpan (misalnya, baterai terisi atau roda gila berputar), kemudian **dilepaskan/didekodekan** menjadi kerja produktif (roda gila menggerakkan mesin), dan akhirnya sebagian energi dicadangkan untuk **mempertahankan/mengatur ulang** mesin

untuk siklus berikutnya. Model siklus ini memastikan mesin dapat beroperasi terus-menerus. *Output* dari Core Engine ini secara fundamental adalah **Energi Produk (Product Energy)**, dimensi pertama dari PSKVE, yang merepresentasikan kapasitas kerja langsung artefak.

Dalam konteks Triune Intelligence, AI mengoptimalkan dan mengontrol Core Engine, NI berkontribusi pada desain dan keamanannya, dan CI menginformasikan standar keselamatan serta relevansinya. Misalnya, mesin penggerak kendaraan otonom mungkin menggunakan AI untuk kontrol *real-time*, tetapi aturan jalan yang diikutinya berasal dari kecerdasan budaya (norma masyarakat yang dikodifikasi menjadi hukum), dan desainnya berasal dari kecerdasan alami (pengetahuan insinyur).

4.2 3.2 Smart (Cerdas): Adaptabilitas Melalui PUDAL Engine Triune

Artefak cerdas TISE harus **Cerdas (Smart)**, yang berarti ia memiliki adaptabilitas dan intelijen melalui **Triune-PUDAL Cognitive Engine**. PUDAL (Perceive, Understand, Decision-making & Planning, Act-Response, Learning-evaluating) adalah siklus operasional lima fase yang memungkinkan perilaku cerdas dan adaptif. Dalam paradigma TISE, PUDAL di-re-arsitektur menjadi proses kolaboratif yang dinamis di mana NI, CI, dan AI berinteraksi pada setiap tahap.

- **Perceive (P):** Fase akuisisi data ini utamanya digerakkan oleh **Artificial Intelligence** (misalnya, visi komputer, pemrosesan bahasa alami). Namun, NI dan CI dapat memberikan arahan tingkat tinggi, memandu AI tentang fenomena apa yang penting untuk dirasakan, menyelaraskan pengumpulan data dengan tujuan keseluruhan sistem.
- **Understand (U):** Fase ini menjadi titik kolaborasi kritis antara **AI dan Cultural Intelligence**. AI memproses data mentah untuk mengidentifikasi “apa yang terjadi”, sementara CI menyediakan konteks, nilai, dan kearifan kolektif untuk menafsirkan pola-pola ini dan menentukan “mengapa itu penting”. Metodologi seperti *Value-Sensitive Design* dan analisis sosio-teknis diterapkan di sini.
- **Decision-making & Planning (D):** Fase ini didominasi oleh **Natural Intelligence**, memanfaatkan kapasitas unik manusia untuk penilaian, kreativitas, pertimbangan etis, dan akuntabilitas. AI dan CI menginformasikan NI dengan analisis data dan interpretasi nilai. CI membentuk fase “Keputusan” dengan menyematkan konteks, prinsip etika, atau aturan sosial.
- **Act-Response (A):** Setelah keputusan manusia, fase ini kembali digerakkan oleh **Artificial Intelligence**. AI melaksanakan tindakan atau rencana yang dipilih dengan presisi, kecepatan, dan keandalan.
- **Learning-evaluating (L):** Fase terakhir ini merupakan **lingkaran penuh Triune Intelligence**. AI mengukur hasil teknis, CI mengevaluasi terhadap tujuan dan nilai yang ditetapkan, dan NI merefleksikan keberhasilan keputusannya. Hasilnya adalah artefak yang secara teknis benar, bermakna, dan dapat diterima dalam konteks. Sebagai contoh, sistem diagnostik medis berbasis AI yang cerdas akan menggabungkan keahlian

dokter (NI), menghormati nilai-nilai budaya pasien dalam pilihan pengobatan (CI), dan menggunakan AI untuk menganalisis data dan memprediksi hasil.

4.3 3.3 Extended Range (Jangkauan Luas): Penciptaan Nilai Holistik Melalui PSKVE Engine

Artefak cerdas TISE harus memiliki **Jangkauan Luas (Extended Range)**, yang berarti ia menciptakan nilai holistik melalui **PSKVE Value Engine**. PSKVE Engine mengelola dan mengoptimalkan penciptaan nilai di lima dimensi: Product (Produk), Service (Layanan), Knowledge (Pengetahuan), Value (Nilai ekonomi/sosial), dan Environmental (Lingkungan).

- **Product Energy (Energi Produk):** Kapasitas artefak untuk memberikan fungsi fisik atau komputasi utamanya. NI berkontribusi dalam rekayasa desain yang efisien, AI dalam optimasi dan kontrol, sementara CI menentukan batasan atau persyaratan kinerja produk (misalnya, margin keamanan, preferensi budaya).
- **Service Energy (Energi Layanan):** Upaya yang dapat dicurahkan artefak untuk melayani kebutuhan pengguna dan kualitas pengalaman pengguna. AI memungkinkan personalisasi dan interaksi alami, NI meningkatkan layanan melalui desain berpusat pada manusia dan empati, sedangkan CI penting karena harapan layanan berbeda secara budaya.
- **Knowledge Energy (Energi Pengetahuan):** Informasi dan keahlian yang tertanam dalam artefak. AI bertanggung jawab untuk memperoleh dan memanfaatkan pengetahuan, NI adalah sumber asli banyak pengetahuan (teori, model, interpretasi data dari para ahli), dan CI memengaruhi apa yang dianggap valid atau relevan (misalnya, basis pengetahuan lokal, bias budaya dalam data).
- **Value Energy (Energi Nilai):** Nilai sosio-ekonomi dan budaya yang dapat diciptakan atau difasilitasi oleh artefak. NI berkontribusi pada pemikiran kewirausahaan dan etika (mengidentifikasi peluang nilai, memastikan etika), sementara CI membingkai nilai dalam istilah kolektif (misalnya, keadilan, kepercayaan pengguna). Penyelarasan tujuan AI dengan nilai-nilai manusia (NI dan CI) adalah kunci.
- **Environmental Energy (Energi Lingkungan):** Dampak ekologis dan spasial sistem terhadap lingkungan. AI membantu manajemen sumber daya yang efisien dan simulasi dampak lingkungan, NI penting untuk kreativitas solusi ramah lingkungan dan pengelolaan, sementara CI tercermin dalam prioritas yang diberikan pada masalah lingkungan (misalnya, budaya keberlanjutan, norma spasial).

Secara keseluruhan, CI mendefinisikan portofolio nilai multi-dimensi, AI mengoptimalkan konversi dan *trade-off* antar dimensi, dan NI menyuntikkan kreativitas serta tujuan untuk penciptaan nilai.

4.4 3.4 Realistic (Realistis): Performa yang Dapat Diverifikasi Melalui PICOC Systematic

Artefak cerdas TISE harus **Realistis (Realistic)**, yang berarti performanya dapat diverifikasi melalui kerangka kerja **PICOC Systematic** (Population, Intervention, Control, Outcome, Context). PICOC memastikan bahwa solusi rekayasa terbukti efektif dan relevan di dunia nyata, tidak hanya di atas kertas. Tiga kecerdasan terlibat untuk validasi berbasis bukti.

- **Population (P):** Sasaran upaya rekayasa (pengguna akhir, skenario penggunaan, kelas sistem). Perspektif Triune memastikan populasi mencerminkan keragaman dunia nyata (variasi alami dan budaya).
- **Intervention (I):** Inovasi atau “perlakuan” rekayasa yang diperkenalkan. Perspektif Triune menggambarkan intervensi tidak hanya secara teknis tetapi juga bagaimana hal itu mengubah peran atau alur kerja manusia.
- **Comparison (C):** Perbandingan yang digunakan (keadaan seni sebelumnya, sistem dasar, skenario kontrol). Perspektif Triune memilih perbandingan yang bermakna bagi pemangku kepentingan, termasuk kinerja manusia sebagai patokan.
- **Outcome (O):** Metrik atau kriteria yang menentukan keberhasilan (teknis, terkait pengguna, terkait nilai). Perspektif Triune memastikan *outcome* mencakup beberapa dimensi PSKVE dan hasil etis yang relevan.
- **Context (C):** Kondisi di mana evaluasi dilakukan (pengaturan lingkungan, asumsi, batasan). Perspektif Triune secara eksplisit mencakup konteks budaya dan pengguna, bukan hanya fisik.

NI memainkan peran kunci dalam mendefinisikan parameter PICOC yang bermakna (seringkali keputusan ini bergantung pada penilaian manusia dan pengetahuan domain), AI dapat membantu dengan menganalisis data untuk memilih dasar yang realistis atau mensimulasikan hasil untuk perbandingan, dan CI memastikan bahwa konteks dan populasi dipahami dalam istilah manusia dan budaya.

4.5 3.5 Doable (Dapat Dilaksanakan): Pengembangan Terstruktur Melalui Arsitektur ASTF

Artefak cerdas TISE harus **Dapat Dilaksanakan (Doable)**, yang berarti pengembangannya terstruktur dan layak melalui **Triune-ASTF Four-Layered Architecture** (Application, System, Technology, Fundamental Research). ASTF adalah metode dekomposisi hierarkis yang digunakan TISE untuk memecah masalah rekayasa yang besar dan rumit menjadi empat lapisan yang lebih dapat dikelola dan saling berhubungan. Ini membantu mendekomposisi R&D untuk NI, CI, dan AI ke dalam lapisan-lapisan yang dapat dikelola.

- **A - Application Layer (Lapisan Aplikasi):** Lapisan teratas yang paling dekat dengan pengguna dan dunia nyata. Fokusnya adalah memahami masalah pemangku kepentingan dan mendefinisikan solusi yang diinginkan. Lapisan ini didorong oleh CI, berfokus pada “WHY” (tujuan, nilai, dan masalah pemangku kepentingan di dunia nyata).
- **S - System Layer (Lapisan Sistem):** Lapisan ini berfokus pada desain arsitektur artefak atau sistem secara keseluruhan, termasuk antarmuka manusia-mesin dan protokol kolaborasi. Ini mengintegrasikan NI-CI-AI.
- **T - Technology Layer (Lapisan Teknologi):** Lapisan ini berfokus pada pengembangan atau pemilihan mesin atau teknologi kunci yang menjadi komponen pembangun sistem, seperti algoritma AI, sensor, atau aktuator.
- **F - Fundamental Research Layer (Lapisan Riset Fundamental):** Lapisan terdalam, berfokus pada penemuan atau validasi prinsip-prinsip ilmiah atau pengetahuan dasar yang mendasari teknologi.

Sebagai contoh, dalam sistem komuter cerdas Jakarta-Bandung, Lapisan Aplikasi berurusan dengan masalah komuter; Lapisan Sistem merancang sistem kapsul tidur; Lapisan Teknologi mengembangkan mesin listrik dan dapur otomatis; dan Lapisan Fundamental meneliti optimasi jadwal dan alokasi sumber daya.

4.6 3.6 Methodic (Metodis): Proses Pengembangan Sistematis Melalui W-Model

Artefak cerdas TISE harus **Metodis (Methodic)**, yang berarti proses pengembangannya dari awal hingga akhir terstruktur, dapat dilacak, dan sistematis melalui **V-Method**. TISE mengadopsi **W-Model**, sebuah pengembangan dari V-Model tradisional, yang dirancang untuk menekankan verifikasi dan validasi berkelanjutan di seluruh proses pengembangan. W-Model terdiri dari empat “kaki” yang saling berhubungan:

1. **Kaki Kiri Luar (Dekomposisi dan Definisi - Alur ASTF):** Bergerak turun dari kebutuhan tingkat tinggi ke spesifikasi detail, mengoperasionalkan dekomposisi hierarkis ASTF (Aplikasi ke Riset Fundamental). Fase ini sangat dipengaruhi oleh CI untuk menangkap “MENGAPA” dari sistem, termasuk nilai-nilai manusia dan hasil PSKVE yang diinginkan.
2. **Kaki Kanan Dalam (Proses Desain dan Sintesis Internal):** Berjalan paralel dengan Kaki Kiri Luar, menggambarkan proses internal iteratif di mana desain setiap lapisan dibuat. Proses ini bergantung pada Triune Intelligence: AI untuk pemodelan dan simulasi, NI untuk kreativitas dan pengambilan keputusan, serta CI untuk memastikan desain selaras dengan nilai-nilai budaya dan etika.
3. **Kaki Kanan Luar (Realisasi, Integrasi, dan Validasi - Alur FTSA):** Bergerak naik dari implementasi tingkat fundamental hingga penerapan aplikasi, merepresentasikan proses pembangunan dan pengujian (Riset Fundamental ke Aplikasi).

4. **Kaki Kiri Dalam (Validasi Berbasis PICOC):** Berjalan paralel dengan Kaki Kanan Luar, merepresentasikan validasi yang ketat dan berbasis bukti dari *output* yang direalisasikan. PICOC diterapkan di setiap tahap yang selaras dengan ASTF. AI mendukung pengujian otomatis, NI terlibat dalam menafsirkan hasil pengujian, dan CI memastikan validasi mencakup penerimaan pengguna dan kepatuhan etis.

Dengan mengintegrasikan proses desain dan validasi internal secara eksplisit, serta menenun peran Triune Intelligence secara mendalam, W-Model memastikan bahwa solusi rekayasa tidak hanya sehat secara teknis tetapi juga relevan, efektif, dan diterima dalam konteks manusia dan masyarakat di dunia nyata.

5 Bab 4: Kerangka Kerja ASTF: Dekomposisi Masalah dari Aplikasi ke Fundamental

Tentu, berikut adalah draf Bab 4 dari buku Anda, yang membahas Kerangka Kerja ASTF dalam paradigma TISE:

Setelah memahami filosofi dan karakteristik umum TISE (Bab 1) serta fondasi Triune Intelligence (TI) yang menggerakkan artefak cerdas TISE (Bab 2), dan karakteristik artefak cerdas TISE (Bab 3), bab ini akan beralih ke salah satu pilar metodologis utama TISE: **Arsitektur Empat Lapisan TISE (Application, System, Technology, Fundamental Research - ASTF)**. Salah satu tantangan terbesar dalam rekayasa sistem yang kompleks adalah mengelola kompleksitas itu sendiri. Kerangka kerja ASTF adalah metode dekomposisi hierarkis yang digunakan TISE untuk memecah masalah rekayasa yang besar dan rumit menjadi empat lapisan yang lebih dapat dikelola dan saling berhubungan. Ini juga berfungsi sebagai panduan inovasi.

5.1 4.1 Membedah Kompleksitas dengan Empat Lapisan

Setiap lapisan dalam kerangka ASTF memiliki fokus, pertanyaan, dan *output* yang berbeda, memungkinkan peneliti untuk menavigasi kompleksitas secara terstruktur:

1. A - Application Layer (Lapisan Aplikasi)

- **Fokus dan Peran:** Ini adalah lapisan teratas, yang paling dekat dengan pengguna dan dunia nyata. Fokusnya adalah memahami masalah pemangku kepentingan dan mendefinisikan solusi yang diinginkan. Lapisan ini didorong oleh **Kecerdasan Kultural (Cultural Intelligence - CI)**, yang berpusat pada “**WHY**” (tujuan, nilai, dan masalah pemangku kepentingan di dunia nyata). **Kecerdasan Alami (Natural Intelligence - NI)** juga terlibat aktif dalam berinteraksi dengan pengguna dan pembuat keputusan untuk menangkap kebutuhan sebenarnya.
- **Pertanyaan Kunci:** “Masalah apa yang ingin kita selesaikan untuk siapa?” dan “Seperti apa solusi yang berhasil itu?”.
- **Output:** Serangkaian kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang jelas.

2. S - System Layer (Lapisan Sistem)

- **Fokus dan Peran:** Lapisan ini berfokus pada desain arsitektur Rancang-Bangun (RB) atau sistem secara keseluruhan. Di sini, peneliti menerjemahkan kebutuhan dari Lapisan Aplikasi menjadi sebuah arsitektur sistem yang koheren. Lapisan ini melibatkan **integrasi NI-CI-AI** (desain arsitektur sistem keseluruhan, antarmuka manusia-mesin, protokol kolaborasi).
- **Pertanyaan Kunci:** “Bagaimana kita dapat mengintegrasikan berbagai teknologi dan komponen untuk memberikan solusi yang dibutuhkan?”.
- **Output:** Model sistem, diagram arsitektur, dan spesifikasi antarmuka.

3. T - Technology Layer (Lapisan Teknologi)

- **Fokus dan Peran:** Lapisan ini berfokus pada pengembangan atau pemilihan mesin atau teknologi kunci yang menjadi komponen pembangun sistem. Ini adalah “mesin” spesifik yang melakukan tugas-tugas penting, seperti algoritma AI, sensor baru, atau aktuator. Ini adalah tempat **PUDAL Engine** dan **Core Engine** diciptakan.
- **Pertanyaan Kunci:** “Teknologi apa yang kita butuhkan untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi dalam arsitektur sistem?”.
- **Output:** Teknologi yang terbukti andal dan berkinerja tinggi.

4. F - Fundamental Research Layer (Lapisan Riset Fundamental)

- **Fokus dan Peran:** Ini adalah lapisan terdalam, yang berfokus pada penemuan atau validasi prinsip-prinsip ilmiah atau pengetahuan dasar yang mendasari teknologi.
- **Pertanyaan Kunci:** “Apa hukum alam, teori matematika, atau prinsip ilmiah yang memungkinkan teknologi kita bekerja?”.
- **Output:** Pengetahuan baru, teori yang divalidasi, atau model fundamental.

5.2 4.2 Contoh Penerapan ASTF: Sistem Komuter Cerdas Jakarta-Bandung

Untuk memberikan ilustrasi konkret tentang bagaimana kerangka ASTF bekerja dalam praktiknya, mari kita terapkan pada masalah sistem komuter cerdas Jakarta-Bandung:

- **A (Aplikasi):** Masalahnya adalah jutaan komuter akan melakukan perjalanan harian antara Jakarta dan Bandung yang melelahkan dan memakan waktu, sehingga menciptakan kebutuhan mendesak akan solusi untuk istirahat, makan, dan perjalanan yang efisien. Solusi yang diusulkan adalah model bisnis “**berbagai kamar-makanan-perjalanan**” (**room-food-travel sharing**) yang terintegrasi untuk menyediakan akomodasi sementara, makanan yang nyaman, dan perjalanan yang efisien dalam satu platform.
- **S (Sistem):** Sistem yang diusulkan adalah “**Sistem Kapsul Tidur Komuter dan Makanan Siap Saji**” (**Commuter-Sleep-in-Capsule-Food-to-Go System**). Arsitektur sistemnya mengintegrasikan kapsul tidur yang kompak dan nyaman di hub

transportasi, layanan makanan siap saji yang dapat dipesan sebelumnya, dan integrasi yang mulus dengan jaringan transportasi (kereta cepat, bus cerdas). Sistem ini berfungsi mengubah input (permintaan komuter, energi, bahan makanan) menjadi output (istirahat, nutrisi, perjalanan efisien).

- **T (Teknologi):** Teknologi kuncinya meliputi **Mesin Listrik** untuk menggerakkan kendaraan transportasi secara efisien dan berkelanjutan, **Dapur Otomatis** untuk produksi makanan massal yang cepat, konsisten, dan higienis, **Uang Digital** untuk transaksi yang lancar dan tanpa gesekan, dan **Platform Pembiayaan Digital** untuk mengelola arus kas, investasi, dan keberlanjutan ekonomi jangka panjang dari seluruh sistem.
- **F (Fundamental):** Prinsip dasar yang diteliti meliputi **Tingkat Jam Kerja Manusia Minimum** (prinsip ekonomi industri untuk meminimalkan input tenaga kerja tanpa mengorbankan kualitas), **Optimasi Jadwal Waktu** (prinsip dari riset operasi untuk memaksimalkan *throughput* dan meminimalkan waktu tunggu), **Alokasi Sumber Daya** (prinsip dari teori sistem untuk mendistribusikan sumber daya terbatas secara optimal), dan **Konversi Nilai PSKVE** (teori fundamental dari TISE tentang bagaimana berbagai bentuk “energi”—Produk, Layanan, Pengetahuan, Nilai, Lingkungan—dapat ditransaksikan untuk menciptakan nilai holistik).

5.3 4.3 ASTF sebagai Peta Jalan Riset

Bagi seorang mahasiswa doctoral atau peneliti, kerangka ASTF berfungsi sebagai peta jalan yang sangat berharga. Ia membantu dalam:

- **Mendefinisikan Ruang Lingkup:** Mahasiswa dapat dengan jelas memposisikan kontribusi utama penelitian mereka. Apakah mereka berinovasi di lapisan Teknologi dengan algoritma baru? Atau di lapisan Sistem dengan arsitektur baru? Atau mungkin di lapisan Fundamental dengan menemukan prinsip baru?.
- **Mengidentifikasi Kontribusi Berlapis:** Penelitian yang kuat seringkali memberikan kontribusi di lebih dari satu lapisan. ASTF membantu mengartikulasikan bagaimana inovasi di satu lapisan (misalnya, penemuan di F) memungkinkan inovasi di lapisan lain (misalnya, teknologi baru di T).
- **Membangun Narasi yang Koheren:** ASTF menyediakan struktur naratif yang logis untuk disertasi. Ceritanya dapat mengalir dari pemahaman masalah di lapisan A, turun ke prinsip-prinsip di F, dan kemudian kembali naik untuk menunjukkan bagaimana inovasi di setiap lapisan berkontribusi pada solusi akhir.

Tabel berikut menyediakan matriks yang dapat digunakan mahasiswa untuk merencanakan penelitian mereka dalam kerangka ASTF:

Tabel 4.1: Matriks Kerangka ASTF untuk Perencanaan Riset

Lapisan	Fokus/Tujuan Utama	Pertanyaan Kunci	Output Khas
A (Ap- likasi)	Memahami masalah pemangku kepentingan dan mendefinisikan solusi yang diinginkan, didorong oleh CI.	“Masalah apa yang ingin kita selesaikan untuk siapa?” “Seperti apa solusi yang berhasil itu?”	Kebutuhan fungsional & non-fungsional, spesifikasi kebutuhan pengguna.
S (Sis- tem)	Merancang arsitektur sistem keseluruhan untuk memenuhi kebutuhan aplikasi, mengintegrasikan NI-CI-AI.	“Bagaimana kita dapat mengintegrasikan berbagai teknologi dan komponen untuk memberikan solusi yang dibutuhkan?”	Model sistem, diagram arsitektur, spesifikasi antarmuka.
T (Teknologi)	Mengembangkan atau memilih teknologi kunci (mesin) yang mengimplementasikan fungsi sistem.	“Teknologi apa yang kita butuhkan untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi dalam arsitektur sistem?”	Modul teknologi, algoritma AI, prototipe teknologi.
F (Riset Fun- da- men- tal)	Menemukan atau memvalidasi prinsip-prinsip ilmiah atau pengetahuan dasar yang mendasari teknologi.	“Apa hukum alam, teori matematika, atau prinsip ilmiah yang memungkinkan teknologi kita bekerja?” “Apa kesenjangan pengetahuan mendasar?”	Pengetahuan baru, teori yang divalidasi, model fundamental, prinsip ilmiah baru.

6 Bab 5: Siklus Kognitif Triune-PUDAL Engine

Tentu, berikut adalah draf Bab 5 dari buku Anda, yang membahas Siklus Kognitif Triune-PUDAL Engine, dengan mengacu pada semua sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita:

Setelah menjelajahi struktur dekomposisi masalah melalui kerangka ASTF di Bab 4, kini kita akan beralih ke inti kognitif dari setiap artefak cerdas TISE: **Triune-PUDAL Cognitive Engine**. Jika Core Engine adalah “otot” dari artefak, maka PUDAL Engine adalah “otak”-nya. Bab ini akan menguraikan siklus operasional lima fase PUDAL, menjelaskan re-arsitekturanya sebagai kolaborasi dinamis dari Triune Intelligence (TI), membedakannya dari kerangka kerja keputusan lain seperti OODA, dan mengaitkannya dengan implementasi *Human-in-the-Loop* (HITL).

6.1 5.1 PUDAL Engine: Inti Kognitif untuk Kecerdasan Adaptif

PUDAL cycle (siklus PUDAL) adalah inti kognitif yang memungkinkan artefak cerdas untuk menunjukkan kecerdasan dan kemampuan beradaptasi. Ini adalah *loop* operasional fundamental yang terdiri dari lima fase yang saling berhubungan: **Perceive** (Merasa/Mempersepsikan), **Understand** (Memahami), **Decision-making & Planning** (Membuat Keputusan & Perencanaan), **Act-Response** (Bertindak-Merespons), dan **Learning-evaluating** (Belajar-Mengevaluasi).

Dalam kerangka kerja Rekayasa Cerdas asli, siklus ini mungkin terlihat terutama didukung oleh Kecerdasan Buatan (AI). Namun, paradigma Rekayasa Triune (TISE) mengubah “**PUDAL Engine**” ini menjadi proses kolaboratif yang dinamis di mana **Kecerdasan Alami** (**Natural Intelligence - NI**), **Kecerdasan Budaya** (**Cultural Intelligence - CI**), dan **Kecerdasan Buatan** (**Artificial Intelligence - AI**) berinteraksi pada setiap tahap. Siklus PUDAL, dengan demikian, menjadi arena operasional utama bagi Triune Intelligence, proses di mana logika “**WHY-WHAT-HOW**” terus-menerus dieksekusi untuk memecahkan masalah.

6.2 5.2 Re-arsitektur PUDAL sebagai Kolaborasi Triune Intelligence

Integrasi Triune Intelligence secara fundamental meningkatkan kapasitas dan kualitas mesin PUDAL. Mesin PUDAL yang hanya didukung oleh AI mungkin efisien, tetapi berisiko rapuh, bias, atau bahkan “berhalusinasi” (menghasilkan *output* yang tidak masuk akal). TI memperkuat setiap fase PUDAL melalui kolaborasi NI, CI, dan AI:

1. **Perceive (P) – Merasakan/Mempersepsikan:** Fase akuisisi data ini utamanya digerakkan oleh **Artificial Intelligence** melalui teknologi seperti *Computer Vision* dan *Natural Language Processing* (NLP). Namun, **Natural Intelligence** (NI) dan **Cultural Intelligence** (CI) memberikan arahan tingkat tinggi, memandu AI tentang fenomena apa yang penting untuk dirasakan, menyelaraskan pengumpulan data dengan tujuan keseluruhan sistem. Ini berarti sistem tidak hanya “melihat” data, tetapi “memahami” signifikansi sosial dan ekologisnya.
2. **Understand (U) – Memahami:** Fase ini merupakan titik kolaborasi kritis antara **AI dan Cultural Intelligence**. AI memproses data mentah untuk mengidentifikasi “apa yang terjadi”, sementara CI menyediakan konteks, nilai, dan kearifan kolektif untuk menafsirkan pola-pola ini dan menentukan “mengapa itu penting”. Dengan memasukkan kerangka etis (Homocordium) dan hukum alam (Natural Intelligence) yang eksplisit, pemahaman sistem menjadi lebih mendalam dan tidak bias, membantu AI menghindari kesimpulan yang salah yang mungkin timbul dari data historis yang bias.
3. **Decision-making & Planning (D) – Membuat Keputusan & Perencanaan:** Fase ini didominasi oleh **Natural Intelligence**, memanfaatkan kapasitas unik manusia untuk penilaian, kreativitas, pertimbangan etis, dan akuntabilitas. AI berkontribusi melalui algoritma optimasi dan *Reinforcement Learning* (RL), sementara CI memengaruhi keputusan desain agar selaras dengan nilai-nilai budaya dan batasan etis. Keputusan tidak lagi hanya dioptimalkan untuk metrik teknis, tetapi juga untuk keselarasan dengan nilai-nilai manusia dan keberlanjutan lingkungan.
4. **Act-Response (A) – Bertindak-Merespons:** Sistem mengeksekusi tindakan atau rencana yang telah dipilih, berinteraksi dengan atau memodifikasi lingkungannya. Fase ini digerakkan oleh **Artificial Intelligence**, yang mengontrol eksekusi ini melalui sistem kontrol robotika atau aktuator dengan presisi, kecepatan, dan keandalan.
5. **Learning-evaluating (L) – Belajar-Mengevaluasi:** Setelah bertindak, sistem menilai hasil dari tindakannya dan membandingkannya dengan hasil yang diharapkan. Fase ini merupakan **lingkaran penuh Triune Intelligence (NI + CI + AI)**. AI mengukur hasil teknis, CI mengevaluasi terhadap tujuan dan nilai yang ditetapkan, dan NI merefleksikan keberhasilan keputusannya. Berdasarkan evaluasi ini, sistem memperbarui pengetahuan, model, atau strateginya untuk meningkatkan kinerja di masa depan, yang didukung oleh berbagai teknik *Machine Learning* (ML) dan *Reinforcement Learning* (RL). Sistem belajar tidak hanya untuk menjadi lebih akurat, tetapi juga untuk menjadi lebih “baik”—lebih

adil, lebih etis, dan lebih berkelanjutan. Kemampuan belajar inilah yang menjadi jembatan krusial antara kognisi (PUDAL) dan penciptaan nilai (PSKVE).

6.3 5.3 PUDAL vs. OODA: Sebuah Arsitektur Kognitif Sejati

Siklus PUDAL bukanlah urutan linier, melainkan sebuah *feedback loop* yang berkelanjutan dan berulang. Kehadiran fase ‘**L**’ (**Learning-evaluating**) yang eksplisit adalah hal yang membedakan PUDAL dari kerangka kerja keputusan lain seperti **OODA** (**Observe, Orient, Decide, Act**) yang populer di kalangan militer. Meskipun OODA memiliki *feedback loop* implisit, fase ‘**L**’ yang terstruktur dalam PUDAL mengubahnya dari sekadar siklus keputusan taktis menjadi **arsitektur kognitif sejati**. Ini berarti artefak dengan mesin PUDAL tidak hanya dirancang untuk bereaksi secara adaptif terhadap perubahan, tetapi juga untuk **belajar secara sistematis dan mengembangkan pemahamannya dari waktu ke waktu**.

6.4 5.4 PUDAL sebagai “Meta-Prompt Engine” dan Arsitektur Human-in-the-Loop

Dalam operasionalnya, PUDAL Engine dapat berfungsi sebagai “**Meta-Prompt Engine**” yang berinteraksi dengan Core Engine melalui “PROMPTS”. Ini mengindikasikan bahwa siklus kognitif ini memberikan perintah atau panduan tingkat tinggi kepada mesin inti untuk melakukan tugas-tugas fisiknya.

Implementasi PUDAL yang efektif dalam sistem cerdas seringkali mengadopsi arsitektur **Human-in-the-Loop (HITL)**. Ini melibatkan empat tahapan utama: * **Pre-processing**: Manusia terlibat dalam mempersiapkan data atau aturan awal. * **In-the-loop (Blocking)**: Manusia terlibat secara aktif dalam proses pengambilan keputusan *real-time*, seringkali untuk tugas-tugas kritis yang membutuhkan penilaian manusia. * **Post-processing**: Manusia meninjau dan memverifikasi *output* dari sistem otomatis. * **Parallel Feedback (Non-blocking)**: Manusia memberikan umpan balik berkelanjutan yang digunakan untuk melatih dan meningkatkan sistem secara tidak langsung.

Penting untuk dicatat bahwa *Level of Autonomy* (LoA) dapat memengaruhi kinerja manusia dan sistem. LoA yang lebih rendah dapat menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik, tetapi justru merugikan kinerja pengguna. Hal ini menyoroti perlunya menyeimbangkan otomatisasi dengan peran manusia untuk mencapai kinerja SoAS (System of Autonomous Systems) secara keseluruhan yang optimal.

6.5 5.5 Metrik Kapasitas Triune-PUDAL

Untuk mengukur efektivitas dan kapasitas Triune-PUDAL Engine, TISE menyarankan penggunaan metrik yang melampaui kinerja teknis AI semata, mencakup dimensi NI dan CI. Beberapa kluster metrik yang relevan meliputi:

- **Natural-Intelligence Fitness:** Mengukur kesehatan dan kewaspadaan “lengkung refleksi Id + limbik” manusia.
 - **Bio-Responsiveness RT (Waktu Reaksi Bio):** Waktu reaksi median dari stimulus fisik hingga aktuasi aman.
 - **Cognitive-Load Index (Indeks Beban Kognitif):** Usaha mental operator saat mengawasi AI.
 - **Trust Calibration Error (Kesalahan Kalibrasi Kepercayaan):** Kesenjangan antara kepercayaan manusia dan akurasi sebenarnya dari AI.
- **Collective Intelligence (Kecerdasan Kolektif):** Mengukur kemampuan sistem untuk berkolaborasi dan belajar secara sinergis.
 - **Decision Alignment Index (Indeks Penyelarasan Keputusan):** Porsi keputusan akhir yang mengutip masukan dari ketiga pilar kecerdasan (NI, CI, AI).
 - **Resolution-Latency (Latensi Resolusi):** Waktu rata-rata untuk menyelesaikan konflik NI-AI-CI yang ditandai oleh lapisan tata kelola.
- **Societal & Ethical Impact (Dampak Sosial & Etika):** Mengukur nilai “Rekayasa untuk Kemanusiaan” tertinggi.
 - **Safety Incident Rate (Tingkat Insiden Keamanan):** Kejadian kritis per 10 ribu jam operasi.
 - **Inclusivity Spread (Penyebaran Inklusivitas):** Ukuran distribusi nilai di berbagai kelompok pemangku kepentingan.
 - **Sustainable-Benefit ROI (ROI Manfaat Berkelanjutan):** Eksternalitas positif bersih jangka panjang (energi yang dihemat, kehidupan yang ditingkatkan) per unit biaya.

Metrik-metrik ini, yang dikelompokkan dalam Indeks Kapasitas Triune (TCI), memungkinkan kita untuk melampaui pertanyaan “Apakah modelnya berfungsi?” menjadi “Apakah seluruh sistem Triune aman, cerdas, adil, dan terus belajar?”—bukti nyata bahwa TI memberikan janjinya untuk kemanusiaan.

7 Bab 6: PSKVE Engine: Menciptakan Nilai Holistik dan Berjangkauan Luas

Tentu, berikut adalah draf Bab 6 dari buku Anda, yang membahas PSKVE Engine dan peranannya dalam menciptakan nilai holistik dan berjangkauan luas, dengan mengacu pada semua sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita:

Di Bab 4, kita telah memahami bagaimana kerangka kerja ASTF digunakan untuk dekomposisi masalah. Di Bab 5, kita mendalami Triune-PUDAL Engine sebagai inti kognitif artefak cerdas. Kini, kita akan beralih ke karakteristik ketiga dari artefak cerdas TISE: **Jangkauan Luas (Extended Range)**, yang diwujudkan melalui **PSKVE Value Engine**. Bab ini akan menjelaskan konsep energi multi-dimensi dalam PSKVE, perannya dalam menciptakan nilai holistik, dan bagaimana Triune Intelligence (TI) memengaruhi dan meningkatkan setiap dimensi nilai ini.

7.1 6.1 Konsep PSKVE Energy: Abstraksi Nilai Multi-Dimensi

Dalam kerangka *Smart Engineering*, **PSKVE Energy** adalah konseptualisasi multi-dimensi dari “energi” yang menangkap berbagai bentuk nilai dan kapasitas yang dikelola dan dihasilkan oleh artefak cerdas. Artefak cerdas adalah *output* yang berwujud atau tidak berwujud dari *Smart Engineering* yang mewujudkan dan memanipulasi energi-energi ini. PSKVE adalah akronim dari lima dimensi nilai:

- **Product (Produk)**
- **Service (Layanan)**
- **Knowledge (Pengetahuan)**
- **Value (Nilai)**
- **Environmental (Lingkungan)**

Konsep PSKVE adalah abstraksi dari solusi dan proses rekayasa. Ini memungkinkan pandangan yang seragam terhadap berbagai masalah rekayasa dan memungkinkan penciptaan model komputasi untuk rekayasa cerdas. PSKVE yang komprehensif (Product-Service-Knowledge-Value-Environmental) adalah output dari rekayasa modern.

7.2 6.2 Peran PSKVE Engine: Memperluas Jangkauan dan Memberikan Nilai Holistik

PSKVE Engine memperluas jangkauan artefak dan memberikan nilai holistik. Ini adalah kerangka kerja untuk **optimasi multi-objektif** dalam sistem sosio-teknis yang kompleks, mengatasi *trade-off* antar tujuan yang mungkin bertentangan. Sebuah *smart artefact* TISE tidak boleh hanya berfokus pada satu jenis nilai (misalnya, nilai ekonomi), melainkan harus secara bersamaan mempertimbangkan dampaknya pada semua dimensi PSKVE.

7.3 6.3 Dampak Triune Intelligence pada PSKVE

Triune Intelligence (NI, CI, AI) secara fundamental meningkatkan kapasitas dan kualitas mesin PSKVE. Mengelola lima dimensi PSKVE adalah tantangan optimasi yang sangat kompleks, dan TI membuatnya lebih dapat dikelola dengan:

- **Mendefinisikan Nilai Implisit:** TI membantu mengartikulasikan dan mengukur dimensi nilai yang sebelumnya sulit diukur, seperti modal sosial, kepercayaan, atau kesehatan ekologis, dan memasukkannya ke dalam kerangka PSKVE.
- **Optimasi Holistik:** Dengan panduan dari *Homocordium* (NI), AI dapat mengoptimalkan konversi antar dimensi PSKVE dengan cara yang lebih bijaksana, menyeimbangkan keuntungan ekonomi dengan dampak sosial dan lingkungan jangka panjang.

Secara spesifik: * **Cultural Intelligence (CI)** mendefinisikan portofolio nilai multi-dimensi. Ini memengaruhi apa yang dianggap “bernilai” dari perspektif sosial, budaya, dan etis, serta menegosiasikan pertukaran nilai non-moneter. * **Artificial Intelligence (AI)** mengoptimalkan konversi dan *trade-off* antar dimensi nilai. AI menganalisis pasar, mengoptimalkan harga, dan mengelola transaksi keuangan serta aset digital secara efisien. Selain itu, AI dapat memodelkan, memantau, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan dampak lingkungan (misalnya, efisiensi energi, pengurangan limbah). * **Natural Intelligence (NI)** menyuntikkan kreativitas dan tujuan untuk penciptaan nilai. Ini melibatkan desain produk yang ergonomis, estetis, dan memenuhi kebutuhan fungsional serta emosional manusia. NI juga penting dalam memberikan empati, komunikasi, dan sentuhan personal dalam layanan untuk membangun kepercayaan dan kepuasan. Lebih lanjut, NI menciptakan pengetahuan baru melalui kreativitas, pemikiran kritis, dan sintesis lintas disiplin. NI juga memiliki kesadaran dan kepedulian etis terhadap dampak lingkungan, mendorong praktik berkelanjutan.

7.4 6.4 Dimensi PSKVE secara Rinci: Artefak dan Energi

Pemeriksaan lebih dalam setiap dimensi PSKVE mengungkapkan cakupan luas dari konsep ini dan peran Triune Intelligence dalam masing-masing dimensi:

1. **Product (Produk):** Ini adalah kapasitas artefak untuk memberikan fungsi fisik atau komputasi utamanya.
 - **Peran TI:** NI berkontribusi dalam mendesain produk yang ergonomis, estetis, dan memenuhi kebutuhan fungsional dan emosional manusia. AI mengoptimalkan desain produk untuk kinerja, efisiensi, dan keandalan manufaktur melalui simulasi dan analisis. Kecerdasan Alam/Lingkungan menyediakan bahan baku dan hukum fisika yang mengatur properti dan perilaku produk.
2. **Service (Layanan):** Ini adalah upaya yang dapat dicurahkan artefak untuk melayani kebutuhan pengguna dan kualitas pengalaman pengguna.
 - **Peran TI:** NI memberikan empati, komunikasi, dan sentuhan personal dalam layanan untuk membangun kepercayaan dan kepuasan. AI mengotomatiskan dan mempersonalisasi pengiriman layanan dalam skala besar, serta menganalisis umpan balik pelanggan. Kecerdasan Alam/Lingkungan menyediakan konteks lingkungan (misalnya, lokasi, cuaca) di mana layanan diberikan. Harapan layanan berbeda secara budaya, sehingga CI penting di sini.
3. **Knowledge (Pengetahuan):** Ini adalah energi intelektual yang terkandung dalam skema, algoritma, keahlian, dan data, yang merupakan kapasitas untuk memecahkan masalah yang sulit.
 - **Peran TI:** NI menciptakan pengetahuan baru melalui kreativitas, pemikiran kritis, dan sintesis lintas disiplin. AI mengelola, menganalisis, dan mengekstrak wawasan dari basis data pengetahuan yang sangat besar, serta menemukan pola tersembunyi. Kecerdasan Alam/Lingkungan menjadi sumber pengetahuan fundamental tentang cara kerja alam semesta. CI juga memengaruhi apa yang dianggap valid atau relevan (misalnya, basis pengetahuan lokal, bias budaya dalam data).
4. **Value (Nilai):** Ini adalah kapasitas untuk memberi, merepresentasikan, atau menukarkan nilai (finansial, ekonomi, sosial, budaya).
 - **Peran TI:** NI mendefinisikan apa yang dianggap “bernilai” dari perspektif sosial, budaya, dan etis, serta menegosiasikan pertukaran nilai non-moneter. AI menganalisis pasar, mengoptimalkan harga, dan mengelola transaksi keuangan serta aset digital secara efisien. Kecerdasan Alam/Lingkungan menyediakan sumber daya alam yang memiliki nilai intrinsik dan menjadi dasar bagi semua nilai ekonomi. Penyelarasan tujuan AI dengan nilai-nilai manusia (NI dan CI) adalah kunci.
5. **Environmental (Lingkungan):** Ini adalah dampak ekologis dan spasial sistem terhadap lingkungan.
 - **Peran TI:** NI memiliki kesadaran dan kepedulian etis terhadap dampak lingkungan, mendorong praktik berkelanjutan. AI memodelkan, memantau, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan dampak lingkungan (misalnya, efisiensi energi, pengurangan limbah). Kecerdasan Alam/Lingkungan menjadi sistem yang terkena

dampak dan memberikan umpan balik (misalnya, perubahan iklim, penipisan sumber daya) atas semua aktivitas. CI juga tercermin dalam prioritas yang diberikan pada masalah lingkungan (misalnya, budaya keberlanjutan, norma spasial).

7.5 6.5 Prinsip Penciptaan Nilai dan Sistem Kompetitif PSKV-S

Prinsip penciptaan nilai dalam PSKV-S dapat diilustrasikan sebagai berikut: pada awalnya, sebuah PSKV mungkin memiliki biaya produksi yang lebih tinggi daripada nilai gunanya. Namun, melalui proses rekayasa dan inovasi, nilai guna dapat ditingkatkan dan biaya dapat ditekan sehingga tercipta “berlian PSKV”, di mana nilai guna melebihi nilai ongkos. Nilai yang tercipta ini kemudian dibagi dua oleh harga; bagian atas diambil oleh pembeli, dan bagian bawah diambil oleh penjual. Ini mencerminkan pemampatan nilai ke dalam bentuk-bentuk berbiaya rendah.

Pengembangan sistem kompetitif menggunakan konsep PSKV-S adalah tujuan penting dalam TISE. Sebuah model sistem kompetitif PSKV-S terdiri dari enam elemen utama: 1. Nilai-Nilai Inti (Core Values) 2. Kapasitas Sumber Daya (Resource Capacity) 3. Kompetensi Inti (Core Competence) 4. Proses Inti (Core Processes) 5. Proposisi Nilai Pelanggan (Customer Value Proposition - CVP) 6. Daya Serap dan Keberlanjutan Ekonomi, Sosial, dan Lingkungan (Economical, Social, and Environmental Sustainability)

Setiap PSKV yang ditawarkan ke pasar harus menjadi **Proposisi Nilai Pelanggan (CVP)**. Ini berarti: 1. Pelanggan memiliki masalah. 2. Masalah tersebut berupa pekerjaan penting yang harus dilakukan oleh pelanggan. 3. Penjual menawarkan PSKV yang mampu menggantikan pelanggan melakukan pekerjaan itu dengan imbalan finansial dengan harga terjangkau dan murah (nilai guna melebihi harga) di mata pelanggan. 4. Penjual mampu menghasilkan PSKV tersebut dengan biaya ongkos yang lebih rendah dari harga.

PSKVE Engine adalah kerangka kerja untuk optimasi multi-objektif dalam sistem sosio-teknis yang kompleks, mengatasi *trade-off* antar tujuan. Contoh kasusnya adalah bagaimana sebuah sistem PSKV dapat efektif mengembangkan kekayaan nilai dalam kondisi iklim positif (bullish) dan mempertahankan kekayaan dalam kondisi iklim negatif (bearish).

7.6 6.6 Model *Virtual Prototyping* dan Evolusi PSKV-S

Untuk merancang dan memvalidasi PSKVE Engine, TISE memanfaatkan model komputasi PSV-S untuk *virtual prototyping*. Ini memungkinkan pengujian dan penyempurnaan artefak cerdas dalam lingkungan virtual sebelum implementasi fisik.

Proses pengembangan PSV-S melalui *virtual prototyping* biasanya melibatkan beberapa tahapan atau versi: * **Version 0 (Ideas)**: Persyaratan perilaku PSV-S dikembangkan dan disimulasikan dalam lingkungan *virtual prototyping*. Pada tahap ini, F-PSV-S dan

PSV-S koordinator bersifat operasional. * **Version 1 (Alpha)**: PSV-S skala sangat kecil bersifat operasional, dengan I-PSV-S selesai, dan sampel pelanggan mengonfirmasi nilai $[S]$. *Padatahapini jugamengonfirmasimodel $I - PSV - S$, terutama biaya riil produksi $[IS]$ dan model pemasok.* * **Version 2 (Beta)**: PSV-S skala kecil bersifat operasional, dengan S-PSV-S selesai. Mengonfirmasi model S-PSV-S, terutama biaya riil dan pendapatan riil produksi $[\$S]$, dan model pelanggan. * **Version 3 (Release Candidate)**: PSV-S skala menengah bersifat operasional. Mengonfirmasi model A-PSV-S, terutama efisiensinya dengan skala, dan model penyedia aset. * **Version 4 (Final Release)**: PSV-S skala penuh bersifat operasional. Mengonfirmasi skalabilitas semua PSV-S internal, serta model eksternal pemodal.

Model komputasi PSV-S juga menggambarkan struktur internal secara rekursif, biasanya terdiri dari empat PSV-S internal dan enam mata uang internal. Model ini juga mencakup model dinamika penawaran-permintaan dari berbagai sumber. Mata uang yang digunakan dalam pertukaran ini dapat beragam, seperti hak akses, *man-hour*, poin, klaim, honorarium, uang, kredit, dan komitmen.

7.7 6.7 Studi Kasus: Sistem Rekomendasi Makanan Sehat (MSRS)

Studi kasus **Sistem Rekomendasi Makanan Sehat (MSRS)** adalah contoh sempurna penerapan TISE pada masalah sosio-teknis yang kompleks, menunjukkan bagaimana TI, PUDAL, dan PSKVE bekerja sama. MSRS berfungsi sebagai ekosistem *marketplace* makanan sehat, menghubungkan berbagai pemangku kepentingan.

Masalah yang dihadapi dalam konteks PSKVE adalah multi-dimensi: * **Produk & Layanan**: Sulit menghasilkan makanan yang sesuai dengan profil kesehatan spesifik (misalnya, diabetes) dan selera lokal. * **Nilai**: Makanan sehat seringkali tidak terjangkau karena rantai pasok yang tidak efisien. * **Lingkungan**: Praktik pertanian dan peternakan seringkali tidak berkelanjutan. * **Pengetahuan**: Kurangnya data tentang kebutuhan konsumen dan inovasi produk lokal yang sehat.

Solusi MSRS, yang berbasis Triune Intelligence, secara aktif mengelola konversi PSKVE. Inovasi (Knowledge) dari chef diubah menjadi Product baru, yang memberikan Service kesehatan kepada konsumen, yang menghasilkan Value ekonomi bagi UMKM dan operator, semuanya dengan tujuan menggunakan bahan baku yang berkelanjutan (Environmental).

8 Bab 7: Metodologi Validasi PICOC Sistematis

Tentu, berikut adalah draf Bab 7 dari buku Anda, yang membahas Metodologi Validasi PICOC Sistematis:

Di Bab 4, kita telah menjelajahi kerangka kerja ASTF untuk dekomposisi masalah, dan di Bab 5, kita memahami Triune-PUDAL Engine sebagai inti kognitif artefak cerdas. Bab 6 membahas PSKVE Engine dan penciptaan nilai holistik. Kini, kita beralih ke karakteristik keempat dari artefak cerdas TISE: **Realistis (Realistic)**, yang diwujudkan melalui kerangka kerja **PICOC Systematic**. Bab ini akan menguraikan **kerangka kerja PICOC berlapis** sebagai pilar metodologis TISE yang memastikan bahwa setiap klaim kontribusi didukung oleh bukti yang kuat, sistematis, dan dapat diandalkan. Proses validasi berbasis PICOC ini membentuk **Kaki Kiri Dalam (Inner Left Leg)** dari **W-Model**, yang berjalan secara paralel dengan proses realisasi dan integrasi.

8.1 7.1 PICOC sebagai Fondasi Riset Berbasis Bukti

PICOC (Population, Intervention, Control, Outcome, Context) adalah sebuah kerangka kerja mnemonik yang berasal dari praktik kedokteran berbasis bukti (*evidence-based medicine*). Tujuannya adalah untuk membantu peneliti merumuskan pertanyaan penelitian yang jelas dan terfokus, yang pada gilirannya memandu pencarian literatur dan desain studi secara sistematis.

Dalam konteks rekayasa TISE, komponen PICOC dapat diadaptasi sebagai berikut:

- **P - Population/Problem/Process (Populasi/Masalah/Proses):** Kelompok, entitas, sistem, atau masalah spesifik yang menjadi subjek penelitian. Dalam rekayasa, ini bisa berupa jenis perangkat lunak, proses manufaktur, atau populasi pengguna tertentu (misalnya, pengguna akhir dari sistem rumah cerdas, populasi kota untuk solusi lalu lintas cerdas).

- **I - Intervention/Improvement/Investigation (Intervensi/Peningkatan/Investigasi):** Solusi, metode, teknologi, atau pendekatan baru yang diusulkan dan sedang dievaluasi. Ini adalah “kontribusi” utama peneliti (misalnya, aplikasi atau solusi cerdas baru yang didukung AI).
- **C - Control/Comparison (Kontrol/Pembandingan):** Solusi, metode, atau kondisi yang ada saat ini (*baseline*) yang digunakan sebagai pembandingan untuk mengukur keunggulan intervensi. Ini bisa berupa teknologi lama, praktik standar, atau ketiadaan intervensi (misalnya, aplikasi atau metode tradisional yang sudah ada).
- **O - Outcome (Hasil):** Efek atau hasil terukur yang digunakan untuk mengevaluasi dan membandingkan Intervensi dan Kontrol. Hasil ini harus kuantitatif atau kualitatif yang dapat diukur secara objektif (misalnya, peningkatan efisiensi, pengurangan kesalahan, peningkatan kepuasan pengguna, peningkatan kepuasan penduduk, lebih sedikit keluhan publik, kecepatan pemrosesan data yang lebih baik, keandalan sistem yang lebih tinggi, akurasi yang lebih tinggi).
- **Cx - Context (Konteks):** Kondisi di mana evaluasi dilakukan. Ini mencakup pengaturan lingkungan, asumsi, batasan, masalah spesifik, atau celah pengetahuan yang ditangani (misalnya, masalah pengiriman layanan kesehatan yang tidak efisien untuk pasien kronis dan kebutuhan pemantauan berkelanjutan yang dipersonalisasi).

8.2 7.2 Penerapan PICOC di Setiap Lapisan ASTF (PICOC Berlapis)

Salah satu kontribusi metodologis paling orisinal TISE adalah penerapan PICOC secara sistematis di setiap lapisan ASTF. Ini mengubah PICOC dari alat tunggal menjadi kerangka validasi multi-lapis yang komprehensif. Dengan kata lain, setiap kali kita melakukan pengujian atau validasi pada sebuah artefak atau komponen TISE, kita dapat mendefinisikannya sebagai eksperimen PICOC di lapisan ASTF yang relevan. Ini memastikan artefak cerdas TISE *realistis* dan *dapat dipercaya* dalam praktiknya.

Mari kita gunakan contoh **Sistem Komuter Cerdas Jakarta-Bandung** (yang diperkenalkan di Bab 4) untuk mengilustrasikan penerapan PICOC di setiap lapisan ASTF:

1. PICOC di Lapisan Aplikasi (PICOC(A)):

- **P (Populasi):** Untuk penduduk di sebuah distrik kota cerdas, atau komuter Jakarta-Bandung.
- **I (Intervensi):** Sistem manajemen limbah Triune yang menggunakan umpan balik berbasis CI tentang nilai estetika komunitas untuk menjadwalkan pengambilan sampah. Atau solusi baru “berbagi kamar-makanan-perjalanan”.
- **C (Kontrol):** Dibandingkan dengan sistem berbasis AI murni yang hanya mengoptimalkan efisiensi bahan bakar. Atau solusi lama seperti bepergian dengan mobil pribadi tanpa fasilitas terintegrasi.

- **O (Hasil):** Mengarah pada kepuasan penduduk yang dilaporkan lebih tinggi dan keluhan publik yang lebih sedikit. Atau peningkatan kinerja yang dirasakan pengguna (misalnya, pengurangan waktu stres, peningkatan produktivitas, kepuasan).
- **Cx (Konteks):** Dalam konteks mempertahankan kendala anggaran kota. Atau konteks masalah komuter jarak jauh di kota metropolitan.

2. PICOC di Lapisan Sistem (PICOC(S)):

- **P (Populasi):** Set data simulasi lalu lintas dan permintaan pengguna. Atau *testbed* data untuk model AI, lingkungan urban simulasi untuk sistem kontrol lalu lintas, *testbed hardware-in-the-loop*.
- **I (Intervensi):** Sistem *Commuter-Sleep-in-Capsule* yang diusulkan. Atau arsitektur sistem cerdas yang diusulkan (misalnya, jaringan sensor terdistribusi dengan pemrosesan AI di *edge*).
- **C (Kontrol):** Sistem transportasi yang ada (misalnya, sistem kereta api konvensional). Atau sistem pemrosesan data terpusat atau versi sebelumnya dari sistem.
- **O (Hasil):** Peningkatan kinerja sistem (misalnya, *throughput* penumpang per jam, utilisasi sumber daya, latensi layanan). Atau kecepatan pemrosesan data yang lebih baik, latensi yang lebih rendah, keandalan sistem yang lebih tinggi, akurasi model AI yang lebih baik.
- **Cx (Konteks):** Kebutuhan akan sistem terintegrasi yang memenuhi persyaratan dari lapisan Aplikasi. Atau kebutuhan akan sistem pemrosesan data *real-time* yang andal untuk aplikasi kesehatan, yang mampu menangani beragam *input* sensor.

3. PICOC di Lapisan Teknologi (PICOC(T)):

- **P (Populasi):** Bahan makanan mentah. Atau data sensor mentah (misalnya, sinyal ECG, tingkat aktivitas), sumber energi untuk modul daya.
- **I (Intervensi):** Dapur otomatis berbasis AI. Atau algoritma AI baru untuk deteksi anomali pada sinyal ECG, teknologi komunikasi *low-power* baru.
- **C (Kontrol):** Dapur komersial konvensional. Atau algoritma deteksi anomali yang ada, komunikasi Bluetooth standar.
- **O (Hasil):** Peningkatan kinerja teknologi (misalnya, kecepatan persiapan makanan per unit, konsistensi kualitas, efisiensi energi). Atau akurasi yang lebih tinggi dan tingkat *false positive* yang lebih rendah untuk deteksi anomali, peningkatan masa pakai baterai karena konsumsi daya yang lebih rendah.
- **Cx (Konteks):** Tantangan untuk menyediakan makanan berkualitas tinggi dalam volume besar secara cepat. Atau tantangan untuk mendeteksi anomali jantung yang halus dari data sensor yang bising dengan penggunaan daya minimal.

4. PICOC di Lapisan Riset Fundamental (PICOC(F)):

- **P (Populasi):** Fenomena alokasi sumber daya dalam sistem yang kompleks. Atau fenomena propagasi sinyal dalam jaringan biologis, batas teoretis kompresi data.
- **I (Intervensi):** Model optimasi baru berdasarkan teori konversi PSKVE. Atau model matematika baru yang menggambarkan atenuasi sinyal, pendekatan

information-theoretic baru untuk kompresi data.

- **C (Kontrol)**: Algoritma alokasi sumber daya standar (misalnya, optimasi linear). Atau model atenuasi sinyal yang ada, teori kompresi yang sudah mapan.
- **O (Hasil)**: Pengetahuan baru (misalnya, pemahaman yang lebih dalam tentang *trade-off* antar dimensi nilai, validasi teori konversi). Atau model prediktif yang lebih akurat, teorema baru yang menetapkan batasan yang lebih ketat pada kompresi.
- **Cx (Konteks)**: Kesenjangan pengetahuan dalam teori optimasi untuk sistem sosio-teknis multi-dimensi. Atau kesenjangan pengetahuan dalam memahami bagaimana faktor fisiologis spesifik memengaruhi kualitas sinyal ECG, pencarian metode transmisi data yang lebih efisien.

8.3 7.3 Membangun Argumen yang Kuat Melalui PICOC Berlapis

Dengan menerapkan PICOC di setiap lapisan, seorang peneliti dapat membangun sebuah argumen yang sangat kuat dan koheren. Hasil dari satu lapisan menjadi bukti pendukung untuk lapisan di atasnya, menciptakan **rantai bukti** yang logis dan tidak terbantahkan. Rantai bukti ini, yang menghubungkan dari riset fundamental hingga dampak pada pengguna, adalah inti dari kekuatan metodologis TISE.

Sebagai contoh: 1. Peneliti membuktikan di **lapisan F** bahwa teori konversi PSKVE-nya menghasilkan alokasi sumber daya yang lebih seimbang ($O(F)$). 2. Pengetahuan ini digunakan untuk merancang dapur otomatis di **lapisan T** yang terbukti lebih efisien dalam menggunakan energi dan bahan baku ($O(T)$). 3. Dapur otomatis ini kemudian diintegrasikan ke dalam **lapisan S**, dan simulasi menunjukkan bahwa sistem secara keseluruhan memiliki biaya operasional yang lebih rendah dan limbah yang lebih sedikit ($O(S)$). 4. Akhirnya, di **lapisan A**, solusi ini ditawarkan kepada pengguna, dan survei menunjukkan bahwa harga yang lebih terjangkau dan aspek keberlanjutan membuat solusi ini lebih disukai ($O(A)$).

8.4 7.4 Peran Triune Intelligence dalam Memperkuat Ketelitian PICOC

Integrasi Triune Intelligence (NI, CI, AI) secara fundamental meningkatkan ketelitian dan komprehensivitas validasi PICOC. Setiap pilar kecerdasan memiliki peran krusial dalam memastikan validasi yang kuat dan bermakna:

- **Peran AI**: Kecerdasan Buatan mendukung pembuatan pengujian otomatis (misalnya, menghasilkan skenario atau kasus ekstrem), deteksi anomali dalam hasil pengujian, dan simulasi berbasis AI untuk skenario yang kompleks atau berbahaya. AI juga dapat menganalisis data untuk memilih *baseline* yang realistis atau mensimulasikan hasil untuk perbandingan.

- **Peran NI (Natural Intelligence):** Kecerdasan manusia terlibat dalam menafsirkan hasil pengujian, melakukan pengujian eksploratif, dan memberikan penilaian akhir dalam validasi, terutama untuk kepuasan pemangku kepentingan. NI juga berperan dalam merumuskan pertanyaan PICOC yang bermakna, karena seringkali keputusan ini bergantung pada penilaian manusia dan pengetahuan domain.
- **Peran CI (Cultural Intelligence):** Kecerdasan Budaya memastikan bahwa validasi mencakup penerimaan pengguna, pemeriksaan kepatuhan etis, dan penilaian adaptabilitas budaya, dengan memasukkan studi pengguna dan umpan balik dari budaya target. CI memastikan bahwa konteks dan populasi dipahami dalam istilah manusia dan budaya.

Dengan demikian, TISE mengintegrasikan ketiga kecerdasan ini dalam setiap tahapan validasi, memastikan bahwa artefak yang dibangun tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga selaras dengan nilai-nilai dan kebutuhan manusia serta batasan alam.

8.5 7.5 Tantangan Verifikasi dan Validasi dalam System of Autonomous Systems (SoAS)

Tantangan dalam memverifikasi dan memvalidasi Sistem dari Sistem (SoS) karena perilaku evolusioner dan perubahan persyaratan juga berlaku untuk *System of Autonomous Systems* (SoAS) sebagai perpanjangan dari SoS. Tantangan ini dapat memburuk ketika dipengaruhi oleh masalah-masalah khusus yang ditimbulkan oleh penggunaan sistem berbasis AI. SoAS dapat diberi peringkat lebih tinggi dalam hal Level Otonomi (LoA) jika sistemnya mampu melakukan lebih banyak tugas misi secara mandiri. Dalam hal ini, SoAS menggunakan algoritma kerja sama AI, membuat sistem berkolaborasi dalam melakukan tugas-tugas misi. Namun, mengintegrasikan otonomi ke dalam operasi SoS dapat memengaruhi kinerja manusia. Penelitian menunjukkan bahwa LoA yang lebih rendah menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik, tetapi merugikan kinerja pengguna. Dengan demikian, LoA sebagai faktor kompleksitas memiliki dampak signifikan pada kinerja operator dan sistem, yang pada akhirnya memengaruhi kinerja SoAS.

TISE, dengan kerangka PICOC berlapis dan penekanan pada Triune Intelligence, menyediakan pendekatan yang lebih tangguh untuk memverifikasi dan memvalidasi sistem-sistem kompleks ini, memastikan bahwa aspek manusia dan budaya diperhitungkan di samping kinerja teknis.

9 Bab 8: W-Model untuk Rekayasa Cerdas: Mengintegrasikan Desain, Sintesis, dan Validasi Berkelanjutan

Tentu, berikut adalah draf Bab 8 dari buku Anda, yang membahas Metodologi V-Method, khususnya W-Model, untuk Rekayasa Cerdas dalam paradigma TISE, dengan mengacu pada semua sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita:

Di Bab 4, kita telah menjelajahi kerangka kerja ASTF untuk dekomposisi masalah, di Bab 5 kita mendalami Triune-PUDAL Engine sebagai inti kognitif, Bab 6 membahas PSKVE Engine dan penciptaan nilai, serta Bab 7 menguraikan Metodologi Validasi PICOC Sistematis. Kini, kita akan beralih ke karakteristik keenam dari artefak cerdas TISE: **Metodis (Methodic)**, yang diwujudkan melalui **V-Method**.

Dalam TISE, jika ASTF adalah peta anatomi masalah, dan PICOC adalah kerangka validasinya, maka **W-Model** adalah diagram alur proses rekayasa itu sendiri. W-Model merupakan pengembangan dari V-Model tradisional, yang dirancang untuk menekankan verifikasi dan validasi berkelanjutan di seluruh proses pengembangan, serta mengintegrasikan definisi masalah dan penciptaan solusi secara lebih eksplisit. Bentuk 'W' yang khas secara visual terdiri dari empat kaki yang saling berhubungan, menyediakan kerangka kerja yang lebih komprehensif untuk sistem kompleks yang melibatkan Kecerdasan Buatan (AI). W-Model memastikan **keterlacakan** dalam pengembangan sistem.

9.1 8.1 Prinsip V-Method: Keterlacakan dan Kelayakan

Pada intinya, **V-Method** adalah model siklus hidup pengembangan sistem berbentuk V yang secara sistematis menghubungkan setiap fase pengembangan dengan fase pengujian, verifikasi, dan validasi yang sesuai. Prinsip utamanya adalah memastikan **keterlacakan** (*traceability*) – setiap persyaratan harus dapat dilacak ke desain, implementasi, dan pengujiannya. Ini menjamin bahwa setiap artefak rekayasa TISE adalah **Dapat Dilaksanakan (Doable)** dan **Metodis (Methodic)**.

Namun, V-Model tradisional seringkali dianggap terlalu linier dan kurang mampu menangani kompleksitas sistem modern, terutama yang melibatkan AI. Oleh karena itu, TISE mengadopsi dan memperluasnya menjadi **W-Model**.

9.2 8.2 Empat Kaki W-Model: Desain, Pengembangan, dan Validasi Triune

W-Model memperluas V-Model dengan menambahkan dua “kaki dalam” yang merepresentasikan proses internal desain dan validasi yang seringkali implisit dalam model yang lebih sederhana. Proses internal ini seringkali bersifat iteratif, berbeda dengan model air terjun yang kaku. W-Model secara eksplisit mengakomodasi siklus iteratif (seperti “mini-V” atau “sprint agile”) dalam fase-fase utamanya, yang krusial untuk pengembangan komponen AI.

Berikut adalah empat kaki W-Model dan bagaimana mereka diintegrasikan dengan kerangka TISE lainnya:

1. Kaki Kiri Luar: Dekomposisi dan Definisi (Alur ASTF)

- **Fokus:** Kaki ini identik dengan sisi kiri V-Model, bergerak turun dari kebutuhan tingkat tinggi ke spesifikasi detail. Ini mengoperasionalkan dekomposisi hierarkis kerangka **ASTF (Application, System, Technology, Fundamental Research)**:
 - **A (Aplikasi):** Mendefinisikan kebutuhan pemangku kepentingan, tujuan bisnis, dan konteks masalah secara keseluruhan. Fase ini sangat dipengaruhi oleh **Kecerdasan Kultural (CI)** untuk menangkap “**MENGAPA**” dari sistem, termasuk nilai-nilai manusia dan hasil PSKVE yang diinginkan.
 - **S (Sistem):** Menerjemahkan kebutuhan aplikasi menjadi arsitektur sistem yang koheren.
 - **T (Teknologi):** Mengembangkan atau memilih teknologi kunci yang menjadi komponen pembangun sistem.
 - **F (Riset Fundamental):** Menemukan atau memvalidasi prinsip-prinsip ilmiah atau pengetahuan dasar yang mendasari teknologi.
- **Peran TI:** Dalam fase ini, CI sangat dominan dalam menentukan persyaratan tingkat tinggi yang selaras dengan nilai-nilai dan budaya, sementara NI membantu dalam mengartikulasikan kebutuhan yang kompleks.

2. Kaki Kanan Dalam: Proses Desain dan Sintesis Internal

- **Fokus:** Kaki ini berjalan paralel dengan Kaki Kiri Luar. Ini merepresentasikan proses internal dan iteratif di mana desain untuk setiap lapisan (A, S, T, F) dibuat dan disempurnakan. Proses desain internal ini dapat dikonseptualisasikan sebagai kolaborasi “**Mesin Triune-PUDAL**”, yang merupakan arena operasional utama bagi Triune Intelligence dalam memecahkan masalah.
- **Peran Triune Intelligence:**

- **AI**: Menyediakan kekuatan komputasi untuk pemodelan canggih, simulasi berbasis AI untuk memprediksi kinerja, dan bahkan membantu dalam pengkodean. Misalnya, AI dapat membantu dalam mengoptimalkan jadwal waktu atau alokasi sumber daya dalam simulasi.
- **NI (Kecerdasan Alami/Manusia)**: Insinyur, ilmuwan data, dan peneliti manusia memandu kreativitas, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan selama proses desain. NI menyuntikkan kontribusi orisinal dan penalaran.
- **CI (Kecerdasan Kultural)**: Memengaruhi keputusan desain agar selaras dengan nilai-nilai budaya, batasan etis, dan pertimbangan sosial (misalnya, masalah privasi saat menentukan sensor, atau kebutuhan akan AI yang dapat dijelaskan untuk membangun kepercayaan pengguna). CI menentukan “mengapa itu penting”.

3. Kaki Kanan Luar: Realisasi, Integrasi, dan Validasi (Alur FTSA)

- **Fokus**: Kaki ini identik dengan sisi kanan V-Model, bergerak naik dari implementasi di tingkat fundamental hingga penerapan di tingkat aplikasi. Kaki ini merepresentasikan proses pembangunan dan pengujian, mengikuti alur **FTSA (Fundamental, Teknologi, Sistem, Aplikasi)**:
 - **F (Validasi Riset Fundamental)**: Memvalidasi pengetahuan, prinsip, atau model baru yang menjadi dasar ilmiah untuk inovasi teknologi.
 - **T (Pengembangan & Verifikasi Teknologi)**: Mengembangkan komponen teknologi individu dan memverifikasinya terhadap spesifikasi desainnya.
 - **S (Integrasi & Verifikasi/Validasi Sistem)**: Mengintegrasikan teknologi yang telah diverifikasi ke dalam sistem Triune yang lengkap, memverifikasinya terhadap spesifikasi, dan memvalidasi bahwa kolaborasi NI-CI-AI berfungsi seperti yang diharapkan.
 - **A (Penerapan & Uji Penerimaan Aplikasi)**: Menerapkan sistem yang telah divalidasi untuk memberikan solusi aplikasi, yang menjalani uji penerimaan dengan pemangku kepentingan untuk memastikan sistem memenuhi kebutuhan yang ditentukan oleh CI dalam konteks dunia nyata.
- **Peran TI**: AI adalah penggerak utama dalam implementasi teknis dan eksekusi, sementara NI dan CI memberikan panduan dan konteks untuk memastikan sistem dibangun sesuai tujuan dan nilai.

4. Kaki Kiri Dalam: Validasi Berbasis PICOC

- **Fokus**: Kaki ini berjalan paralel dengan Kaki Kanan Luar, bergerak naik saat komponen diintegrasikan dan diuji. Kaki ini merepresentasikan validasi yang ketat dan berbasis bukti dari *output* yang direalisasikan di Kaki Kanan Luar. Proses validasi berbasis PICOC ini membentuk **Kaki Kiri Dalam (Inner Left Leg)** dari W-Model.
- **Penerapan PICOC**: Kerangka kerja **PICOC (Population, Intervention, Control, Outcome, Context)** diterapkan di setiap tahap yang selaras dengan ASTF

untuk mendefinisikan tujuan, intervensi, perbandingan, hasil, dan konteks yang spesifik untuk tahap tersebut. Setiap pengujian dapat dijelaskan sebagai sebuah eksperimen PICOC.

- **Peran Triune Intelligence:**

- **AI:** Mendukung pembuatan pengujian otomatis (misalnya, menghasilkan skenario atau kasus ekstrem), deteksi anomali dalam hasil pengujian, dan simulasi berbasis AI untuk skenario yang kompleks atau berbahaya.
- **NI:** Kecerdasan manusia terlibat dalam menafsirkan hasil pengujian, melakukan pengujian eksploratif, dan memberikan penilaian akhir dalam validasi, terutama untuk kepuasan pemangku kepentingan.
- **CI:** Memastikan bahwa validasi mencakup penerimaan pengguna, pemeriksaan kepatuhan etis, dan penilaian adaptabilitas budaya, dengan memasukkan studi pengguna dan umpan balik dari budaya target.

9.3 8.3 W-Model dan Pengelolaan Otonomi dalam System of Autonomous Systems (SoAS)

Integrasi otonomi ke dalam operasi *System of Systems* (SoS) telah meningkatkan kapabilitas otonom, namun dapat berdampak pada kinerja manusia. Penelitian menunjukkan bahwa *Level of Autonomy* (LoA) yang lebih rendah dapat menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik, tetapi justru merugikan kinerja pengguna. Hal ini mengindikasikan bahwa LoA, sebagai faktor kompleksitas, memiliki dampak signifikan pada kinerja operator dan sistem, yang pada akhirnya memengaruhi kinerja *System of Autonomous Systems* (SoAS).

W-Model, dengan penekanannya pada integrasi Triune Intelligence di setiap kaki prosesnya, sangat relevan untuk mengatasi tantangan ini. Dengan secara eksplisit mempertimbangkan peran NI dan CI dalam desain, pengembangan, dan validasi, W-Model TISE membantu memastikan bahwa sistem cerdas tidak hanya optimal secara teknis tetapi juga selaras dengan kemampuan dan kebutuhan manusia. Ini mendukung pengembangan SoAS yang menyeimbangkan otonomi dengan pemberdayaan manusia, menghindari dampak negatif pada kinerja operator, dan mengoptimalkan kinerja SoAS secara keseluruhan.

Dengan mengintegrasikan proses desain dan validasi internal secara eksplisit melalui kaki dalamnya, dan dengan menenun peran Triune Intelligence secara mendalam, W-Model memastikan bahwa solusi rekayasa tidak hanya sehat secara teknis tetapi juga relevan, efektif, dan diterima dalam konteks manusia dan masyarakat di dunia nyata. Ini adalah metodologi yang kokoh untuk mengembangkan artefak cerdas yang kuat, cerdas, berjangkauan luas, realistis, dapat dilaksanakan, dan metodis.

10 Bab 9: Struktur Disertasi dan Publikasi Ilmiah Berbasis TISE

Tentu, berikut adalah draf Bab 9 dari buku Anda, yang membahas Struktur Disertasi dan Publikasi Ilmiah Berbasis TISE, dengan mengacu pada semua sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita:

Setelah memahami metodologi inti TISE, termasuk dekomposisi masalah melalui ASTF (Bab 4), siklus kognitif Triune-PUDAL (Bab 5), penciptaan nilai holistik melalui PSKVE (Bab 6), metodologi validasi PICOC Sistematis (Bab 7), serta kerangka kerja W-Model (Bab 8), kini kita beralih ke aplikasi praktis dari semua konsep ini dalam ranah akademik: **penulisan disertasi dan publikasi ilmiah**. Bab ini akan menjadi panduan bagi mahasiswa dan peneliti untuk menyusun karya ilmiah yang tidak hanya kuat secara metodologis tetapi juga koheren, berdampak, dan mampu mengkomunikasikan kontribusi orisinal dalam kerangka TISE.

10.0.1 9.1 Prinsip Penulisan Disertasi/Paper Ilmiah Berbasis TISE

Prinsip utama penulisan disertasi atau paper ilmiah dalam paradigma TISE adalah **mengajukan (advancing) sebuah cara/titik pandang (pengetahuan) yang baru, yang berdasarkan dari hasil riset yang valid**. Pengetahuan baru ini harus berdasarkan pertumbuhan suatu rumpun keilmuan dan ditulis dalam bahasa rumpun keilmuan tersebut. Proses riset itu sendiri adalah sebuah metode untuk memperoleh pengetahuan yang sah (valid).

Dalam riset rekayasa, terutama yang berorientasi ilmu rekayasa (eksperimental atau teoretis), tesis berupaya menghasilkan jawaban terhadap pertanyaan mengenai realitas dunia dari perspektif keilmuan. Ini bisa berupa pertanyaan eksperimental (apakah prediksi teori akurat?) atau pertanyaan teoretis (teori apa yang memadai untuk menjelaskan fenomena?). Tesis harus menjawab: apa rumusan masalah, mengapa jawaban sebelumnya tidak memadai, apa jawaban peneliti, dan seberapa baik jawaban peneliti dibandingkan dengan yang sudah ada.

TISE mengidentifikasi tiga jenis hipotesis utama dalam riset rekayasa yang dapat menjadi fokus kontribusi: 1. **Hipotesis Solutif**: Menghasilkan solusi terbaik untuk suatu kelas kasus penting. Ini berurusan dengan masalah masyarakat umum (misalnya, masalah pendidikan/pembelajaran, kinerja pembelajar) dan bagaimana menggunakan solusi khusus (teknologi) dengan asumsi

solusi khusus memiliki kemampuan tertentu. 2. **Hipotesis Aplikatif:** Berfokus pada strategi dan prosedur penerapan prinsip-prinsip untuk menghasilkan solusi khusus. 3. **Hipotesis Teoretis:** Menyatakan adanya prinsip-prinsip (misalnya, komputasi/elektrikal) baru yang menjadi dasar untuk mengatasi masalah pembuatan “solusi khusus”.

Disertasi adalah tulisan ilmiah yang memperlihatkan (i) penguasaan subjek/bidang dan (ii) kontribusi pengetahuan hasil riset, di mana riset membuktikan hipotesis/hipotesa yang efektif untuk menjawab permasalahan/pertanyaan.

10.0.2 9.2 Panduan Proses Riset Disertasi dengan TISE: Delapan Tonggak Pencapaian

Proses riset doktoral dalam kerangka TISE dapat dipecah menjadi delapan tonggak pencapaian (*milestones*) yang logis, mulai dari menemukan topik hingga ujian akhir:

- **Milestone 1: Menemukan Topik**
 - **Hasil yang Diharapkan:** Dokumen Definisi Masalah dan Ruang Lingkup.
 - **Fokus TISE:** Fase ini sepenuhnya berada di **Lapisan Aplikasi (A)**. Tugas pertama adalah mengidentifikasi masalah manusia atau masyarakat yang signifikan dan mendesak, menggunakan **Kecerdasan Manusia (Homocordium)** Anda. Tentukan apakah ruang lingkup masalah cukup fokus untuk dapat diselesaikan dalam jangka waktu disertasi.
- **Milestone 2: Studi Literatur**
 - **Hasil yang Diharapkan:** Dokumen Analisis Solusi yang Ada (Mesin Eksisting) dan Peta ASTF-nya.
 - **Fokus TISE:** Fase ini adalah tentang membangun **Kontrol (C)** untuk kerangka PICOC Anda di semua lapisan. Identifikasi dan analisis solusi-solusi yang sudah ada, kemudian bedah dan petakan arsitektur ASTF-nya (aplikasi (A), sistem (S), teknologi (T), dan dasar ilmiahnya (F)). Evaluasi kapasitas PUDAL dan PSKVE mereka yang ada, serta identifikasi kelemahan atau kesenjangan penelitian (*research gap*) di setiap lapisan ASTF dari solusi yang ada sebagai justifikasi untuk intervensi Anda.
- **Milestone 3: Mengajukan Proyek Riset**
 - **Hasil yang Diharapkan:** Proposal Riset yang berisi Ide Mesin Baru, Peta ASTF, dan Desain Kaki Kiri Luar W-Model.
 - **Fokus TISE:** Ini adalah fase desain inti, di mana Anda mendefinisikan **Intervensi (I)** untuk kerangka PICOC Anda. Usulkan “mesin cerdas baru” Anda berdasarkan kesenjangan yang ditemukan, jelaskan bagaimana mesin ini akan memiliki enam karakteristik TISE, dan buat peta ASTF yang jelas untuk intervensi Anda. Rancang kaki kiri luar W-Model dengan mendekomposisikan kebutuhan dari lapisan A turun

ke S, T, dan F. Rumuskan hipotesis atau pertanyaan penelitian untuk setiap lapisan menggunakan format PICOC.

- **Milestone 4 & 5: Kemajuan 1 & 2 (Pengembangan dan Validasi Awal)**

- **Hasil yang Diharapkan:** *Testbed* ASTF yang berfungsi; Kaki Kanan Luar W-Model setengah selesai dan tervalidasi.
- **Fokus TISE:** Fase ini adalah tentang implementasi dan pengujian, dimulai dari bawah ke atas (F->T->S). Bangun *testbed* atau lingkungan simulasi untuk memvalidasi hipotesis Anda di Lapisan Fundamental dan Teknologi, melakukan eksperimen sesuai desain PICOC(F) dan PICOC(T) Anda. Ini adalah awal dari pendakian di kaki kanan luar W-Model, yang divalidasi secara paralel oleh kaki kiri dalam W-Model.

- **Milestone 6: Kemajuan 3 (Integrasi dan Validasi Komprehensif)**

- **Hasil yang Diharapkan:** Kaki Kanan Luar W-Model selesai dan tervalidasi sepenuhnya.
- **Fokus TISE:** Integrasikan teknologi Anda (T) ke dalam sistem (S) dan uji kinerjanya menggunakan PICOC(S). Selanjutnya, uji sistem Anda dalam konteks aplikasi (A) untuk memvalidasi dampaknya pada pemangku kepentingan menggunakan PICOC(A). Ini menyelesaikan pendakian di kaki kanan luar W-Model, yang divalidasi secara ketat di setiap langkah oleh kaki kiri dalam.

- **Milestone 7 & 8: Menulis dan Ujian Akhir**

- **Hasil yang Diharapkan:** Manuskrip disertasi yang siap dan kelulusan.
- **Fokus TISE:** Dokumentasikan seluruh perjalanan metodis Anda. Tunjukkan penguasaan Anda atas paradigma TISE dengan menceritakan kisah penelitian Anda secara koheren. Saat ujian, Anda bukan hanya mempertahankan hasil, tetapi juga mempertahankan validitas proses rekayasa yang telah Anda jalani. Anda adalah seorang “Vokator”—seseorang yang menyuarakan kebenaran yang ditemukan melalui riset yang bertanggung jawab.

10.0.3 9.3 Rekomendasi Struktur Penulisan Disertasi Teknik Menggunakan Kerangka TISE

Struktur disertasi yang mengikuti paradigma TISE akan secara alami menjadi kuat, logis, dan mudah diikuti. Kerangka ASTF dan PICOC berlapis menyediakan “tulang punggung” untuk narasi Anda. Berikut adalah templat struktur bab per bab yang direkomendasikan:

- **Judul Disertasi:** Harus ringkas, informatif, dan mencerminkan kontribusi inti.
- **Abstrak:** Gunakan struktur 6 poin yang efektif untuk menarik pembaca dan *reviewer*: (1) Konteks/Motivasi (masalah penting di Lapisan Aplikasi Cx(A)), (2) Masalah/Kesenjangan (keterbatasan pendekatan yang ada C), (3) Intervensi/Kontribusi (solusi baru I), (4)

Metodologi (bagaimana pendekatan dievaluasi menggunakan PICOC), (5) Hasil (temuan utama), dan (6) Kesimpulan/Dampak (implikasi lebih luas).

- **Bab 1: Pendahuluan**

- Mulai dengan “kail” yang kuat: jelaskan masalah dunia nyata yang penting dan mendesak (Konteks, $Cx(A)$).
- Deskripsikan siapa yang terpengaruh oleh masalah ini (Populasi, $P(A)$).
- Jelaskan solusi yang ada saat ini dan mengapa mereka tidak memadai (Kontrol, $C(A)$ dan keterbatasan Hasilnya, $O(C(A))$).
- Nyatakan dengan jelas tujuan disertasi Anda: untuk mengusulkan dan memvalidasi sebuah solusi baru yang inovatif.
- Secara singkat, perkenalkan solusi Anda (Intervensi, $I(A)$) dan klaim utama tentang manfaatnya (Hasil yang diharapkan, $O(A)$).
- Sebutkan kontribusi penelitian Anda di setiap lapisan ASTF.
- Berikan peta jalan disertasi (outline bab-bab berikutnya).

- **Bab 2: Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori**

- Pendalaman Solusi Lama: Jelaskan bagaimana Solusi Lama ($C(A)$) bekerja, termasuk sistem ($C(S)$), teknologi ($C(T)$), dan prinsip fundamental ($C(F)$) yang mendasarinya.
- Identifikasi Kesenjangan: Tinjau secara kritis literatur yang ada untuk menyoroti kesenjangan atau keterbatasan di setiap lapisan ASTF (A, S, T, F) yang relevan.
- Landasan Teori untuk Solusi Baru: Bangun fondasi teoretis untuk Intervensi (I) Anda. Jelaskan teori-teori (dari F), teknologi (dari T), dan pendekatan sistem (dari S) yang akan digunakan untuk membangun solusi Anda.

- **Bab 3: Metodologi Penelitian**

- Ini adalah bab terpenting untuk menunjukkan ketegasan metodologis Anda.
- Jelaskan **W-Model TISE** sebagai kerangka kerja proses Anda secara keseluruhan, termasuk keempat kakinya dan interaksinya.
- Kemudian, dedikasikan sub-bab untuk setiap lapisan ASTF, menjelaskan secara rinci desain eksperimen menggunakan kerangka PICOC (P, I, C, O, Cx) untuk $PICOC(A)$, $PICOC(S)$, $PICOC(T)$, dan $PICOC(F)$. Pastikan detailnya cukup untuk reproduktifitas.

- **Bab 4: Hasil dan Pembahasan**

- Strukturkan bab ini berdasarkan lapisan ASTF, dari bawah ke atas ($F \rightarrow T \rightarrow S \rightarrow A$) untuk membangun argumen Anda.
- Sajikan luaran (O) untuk setiap lapisan: $O(F)$, $O(T)$, $O(S)$, $O(A)$, menggunakan tabel, gambar, dan grafik secara efektif.
- Pembahasan harus menginterpretasikan hasil untuk setiap lapisan dalam konteksnya, menganalisis signifikansi peningkatan, dan secara eksplisit menghubungkan keberhasilan di lapisan bawah (misalnya, F atau T) yang memungkinkan atau

berkontribusi pada luaran di lapisan atas (misalnya, S atau A). Ini menunjukkan koherensi penelitian Anda.

- Diskusikan implikasi (misalnya, $O(A)$ bagi $P(A)$), keterbatasan studi, dan potensi ancaman terhadap validitas internal dan eksternal temuan Anda.

- **Bab 5: Kesimpulan dan Saran**

- Ringkas kembali masalah, pendekatan, dan kontribusi utama Anda di setiap lapisan ASTF.
- Jawab kembali pertanyaan penelitian yang Anda ajukan di Bab 1.
- Diskusikan dampak yang lebih luas dari pekerjaan Anda.
- Berikan saran yang konkret dan dapat ditindaklanjuti untuk penelitian di masa depan, seperti mengatasi keterbatasan studi, memperluas solusi ke populasi atau konteks baru, atau menyelidiki perbaikan lebih lanjut di salah satu lapisan ASTF.

10.0.4 9.4 Menulis Publikasi Ilmiah (IEEE Paper) Menggunakan Kerangka TISE

Mempublikasikan hasil disertasi di jurnal atau konferensi bereputasi seperti IEEE memerlukan strategi untuk memadatkan penelitian yang kaya dan berlapis menjadi narasi yang ringkas, tajam, dan berdampak.

- **Strategi Penceritaan: Pilih Benang Merah Anda**

- Sebuah paper tidak bisa menceritakan semua detail dari disertasi Anda; Anda harus memilih satu “benang merah” atau kontribusi utama sebagai fokus.
- **Contoh 1 (Fokus Teknologi):** Jika kontribusi terkuat Anda adalah algoritma AI baru (Lapisan T), maka paper Anda akan berpusat pada itu. Pendahuluan akan memotivasi masalah dari Lapisan A. Bagian Metode akan merinci algoritma Anda ($I(T)$) dan bagaimana Anda membandingkannya dengan yang lain ($C(T)$). Bagian Hasil akan menunjukkan keunggulannya ($O(T)$). Kesimpulan akan membahas bagaimana teknologi superior ini dapat memungkinkan sistem yang lebih baik (implikasi untuk S) dan solusi yang lebih baik bagi pengguna (implikasi untuk A).
- **Contoh 2 (Fokus Sistem):** Jika kontribusi Anda adalah arsitektur sistem baru (Lapisan S), paper Anda akan fokus pada desain dan evaluasi sistem tersebut.

- **Struktur Abstrak yang Efektif**

- Abstrak adalah bagian terpenting untuk menarik pembaca dan *reviewer*. Gunakan struktur 6 poin seperti yang dijelaskan sebelumnya.

- **Panduan Penulisan Makalah IEEE dengan PICOC Berlapis**

- Struktur inti PICOC diterapkan pada setiap lapisan (P, I, C, O, Cx).

- Empat lapisan temuan (A, S, T, F) masing-masing dengan PICOC-nya sendiri harus dijelaskan. Misalnya, Lapisan Aplikasi (A) berfokus pada pemecahan masalah pemangku kepentingan, dengan P(A) sebagai pemangku kepentingan dan O(A) sebagai peningkatan kinerja. Lapisan Riset Fundamental (F) berfokus pada penambahan khazanah ilmu pengetahuan, dengan P(F) sebagai fenomena dan O(F) sebagai pengetahuan baru.
- Bagian pendahuluan harus memuat pernyataan masalah ($Cx(A)$), situasi saat ini ($C(A)$), pentingnya, solusi yang diusulkan ($I(A)$), tujuan dan kontribusi, serta garis besar makalah.
- Tinjauan pustaka harus mendalami solusi lama ($C(A)$, $C(S)$, $C(T)$, $C(F)$), mengidentifikasi kesenjangan, dan membangun dasar untuk solusi baru ($I(A)$, $I(S)$, $I(T)$, $I(F)$).
- Bagian metodologi harus merinci *bagaimana* penelitian disiapkan dan dilakukan untuk mengevaluasi intervensi di setiap lapisan, memastikan detail yang cukup untuk reproduktifitas.
- Bagian hasil dan pembahasan harus menyajikan luaran (O) untuk setiap lapisan (A, S, T, F) secara jelas menggunakan gambar dan tabel, diikuti dengan pembahasan yang menginterpretasikan hasil, menganalisis signifikansi, implikasi, koneksi antar-lapisan, keterbatasan, dan ancaman terhadap validitas.
- Kesimpulan harus merangkum kontribusi, menjawab pertanyaan penelitian, membahas dampak lebih luas, dan menyarankan pengembangan selanjutnya.

10.0.5 9.5 Mengantisipasi Pertanyaan *Reviewer* dan Menghasilkan Publikasi

Dengan mengikuti kerangka TISE, Anda dapat secara efektif mengantisipasi pertanyaan *reviewer* yang umum dan menjelaskan kebaruan, validasi, dan signifikansi praktis dari karya Anda. TISE membimbing Anda untuk membangun argumen yang sangat kuat dan koheren, di mana hasil dari satu lapisan menjadi bukti pendukung untuk lapisan di atasnya, menciptakan “rantai bukti” yang logis dari riset fundamental hingga dampak pada pengguna.

Untuk membantu proses ini, buku ini juga menyediakan alat bantu praktis, termasuk **Templat Kosong Kerangka PICOC Berlapis** dan **Daftar Periksa Proposal Riset TISE**, serta **Daftar Periksa Pra-pengiriman Paper IEEE** di Lampiran B. Daftar periksa ini mencakup aspek struktur, konten, kualitas, dan koherensi, memastikan bahwa paper Anda memenuhi standar publikasi ilmiah yang tinggi.

11 Bab 10: Peran Alat Bantu: Python, Ontologi, Prolog, Quarto, dan Mermaid dalam Implementasi TISE

Tentu, berikut adalah draf Bab 10 dari buku Anda, yang membahas peran alat bantu seperti Python, Quarto, Mermaid, dan Triune Intelligence, dengan mengacu pada semua sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita:

Setelah memahami metodologi inti TISE, termasuk dekomposisi masalah melalui ASTF (Bab 4), siklus kognitif Triune-PUDAL (Bab 5), penciptaan nilai holistik melalui PSKVE (Bab 6), dan metodologi validasi PICOC Sistematis (Bab 7), serta kerangka kerja W-Model (Bab 8), kini kita akan fokus pada alat bantu praktis yang memungkinkan implementasi dan dokumentasi paradigma TISE. Bab ini akan menguraikan bagaimana Python, Ontologi, Prolog, Quarto, dan Mermaid berperan penting dalam mewujudkan prinsip-prinsip Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE) dalam riset dan pengembangan artefak cerdas.

11.1 10.1 Python: Bahasa Pemrograman untuk Implementasi dan Simulasi AI

Python adalah bahasa pemrograman utama dan serbaguna yang sangat diutamakan dalam kerangka TISE untuk **implementasi AI, simulasi, dan integrasi**. Perannya sangat krusial di berbagai aspek pengembangan artefak cerdas:

- **Implementasi AI dan Komputasi:** Python adalah pilihan ideal untuk mengembangkan komponen AI yang digerakkan oleh **Kecerdasan Buatan (AI)** dalam siklus PUDAL (Perceive, Understand, Decision-making & Planning, Act-Response, Learning-evaluating). Ini mencakup implementasi algoritma untuk pengumpulan data sensorik (Perceive), analisis pola data (Understand), dan eksekusi tindakan (Act-Response). Kemampuan Python untuk komputasi dan pembelajaran AI mendukung fase-fase ini secara efisien.

- **Optimasi Dimensi Nilai PSKVE:** Python digunakan untuk mengoptimalkan dimensi nilai dalam kerangka PSKVE (Product, Service, Knowledge, Value, Environmental). Ini dapat mencakup pengembangan model untuk menyeimbangkan *trade-off* antar dimensi nilai atau untuk memprediksi dampak perubahan desain pada setiap dimensi.
- **Dukungan Evaluasi PICOC:** Dalam metodologi validasi PICOC, Python sangat membantu dalam analisis statistik dan visualisasi data yang dihasilkan dari eksperimen dan simulasi. Ini memungkinkan peneliti untuk mengukur hasil (Outcome) secara objektif dan menginterpretasikan temuan secara efisien.
- **Perekat Integrasi (*Integration Glue*):** Python bertindak sebagai “perekat integrasi” yang menghubungkan berbagai komponen AI dan pengetahuan dalam sistem TISE yang kompleks.
- **Tutorial Matematika dan Fisika:** Pustaka Python seperti **SymPy** dapat digunakan secara efektif untuk tutorial matematika dan fisika. SymPy menyediakan berbagai fungsi untuk kalkulus, aljabar, pemecahan persamaan, matriks, dan banyak lagi, memungkinkan pengguna untuk melakukan komputasi simbolik dan numerik. Ini mendukung pemahaman dan aplikasi prinsip-prinsip fundamental yang relevan di Lapisan Riset Fundamental (F) dari kerangka ASTF.

Sebagai contoh penerapan, dalam studi kasus simulasi alternatif transportasi Jakarta-Bandung tahun 2030 atau dinamika P2P Lending, Python digunakan untuk mengeksekusi logika simulasi, menghitung biaya, emisi, waktu tempuh, atau mensimulasikan perilaku agen berdasarkan *multiplier* yang diinformasikan oleh ontologi di berbagai skenario ekonomi.

11.2 10.2 Ontologi dan Prolog: Mengimplementasikan Triune Intelligence

Ontologi dan Prolog memainkan peran sentral dalam mewujudkan aspek **Triune Intelligence** dalam artefak cerdas TISE, terutama dalam mengintegrasikan Kecerdasan Alami (NI) dan Kecerdasan Budaya (CI) ke dalam sistem yang dapat diproses oleh AI.

11.3 10.2.1 Ontologi: Konseptualisasi Bersama dan Semantik Umum

Ontologi adalah alat yang sangat penting untuk menciptakan **konseptualisasi bersama** dan **semantik umum** antar sistem, yang krusial untuk interoperabilitas dalam lingkungan rekayasa yang kompleks. Perannya meliputi:

- **Menangkap Pengetahuan NI dan CI:** Ontologi memungkinkan penangkapan pengetahuan manusia (**Natural Intelligence - NI**) dan konteks budaya (**Cultural Intelligence - CI**) secara eksplisit ke dalam bentuk yang dapat digunakan oleh algoritma AI. Ini membantu dalam memastikan **keselarasan semantik** antar disiplin ilmu dan

mengurangi bias yang mungkin timbul dari interpretasi yang berbeda. Misalnya, ontologi dapat memformalkan definisi istilah, hubungan antar konsep, dan aturan domain yang mencerminkan pemahaman manusia dan nilai-nilai budaya.

- **Formalisasi Konsep TISE:** Ontologi dapat digunakan untuk memformalkan konsep-konsep inti kerangka TISE itu sendiri, seperti struktur PUDAL, dimensi PSKVE, lapisan ASTF, dan elemen PICOC. Ini menciptakan bahasa umum yang konsisten untuk merancang dan menganalisis artefak cerdas.
- **Model Metamodeling:** Metamodel OWL klasik, misalnya, mencakup tiga elemen inti: *Individual*, *Property*, dan *Class*. *Property* dapat memiliki banyak tipe seperti *OntologyProperty*, *DataProperty*, *AnnotationProperty*, *ObjectProperty*, dan *DeprecatedProperty*. *AnnotationProperty* dapat diketik oleh *Label*, *versionInfo*, *comment*, *seeAlso*, dan *isDefinedBy*. *ObjectProperty* selanjutnya diwarisi oleh *FunctionalProperty*, *InverseFunctionalProperty*, *TransitionProperty*, *SymmetricProperty*, dan *AsymmetricProperty*. Seseorang dapat mendefinisikan kelas khusus dengan menambahkan *Restriction* ke *ObjectProperty*, yang terdiri dari *Cardinality Restriction*, *HasValue*, dan *Quantifier*.
- **Profil UML untuk Ontologi:** Profil UML dapat digunakan untuk mendefinisikan ontologi, seperti OWL Lite. Ada perangkat bantu seperti *ontoUMLTool* yang dikembangkan berdasarkan profil UML untuk mendukung pembuatan ontologi dalam lingkungan seperti MagicDraw. Alat ini memungkinkan pengguna untuk membangun ontologi tingkat atas yang menggambarkan konsep, hubungan, dan tag khusus domain.

11.4 10.2.2 Prolog: Representasi Pengetahuan Deklaratif dan Penalaran Logis

Prolog adalah bahasa pemrograman logika yang menyediakan representasi pengetahuan deklaratif dan kemampuan **penalaran logis** yang kuat.

- **Menggabungkan NI/CI ke dalam AI:** Prolog memungkinkan penggabungan Kecerdasan Alami (NI) dan Kecerdasan Budaya (CI) ke dalam sistem AI dengan mengkodekan aturan dan preseden logis. Ini penting untuk memodelkan aspek-aspek penalaran manusia dan aturan-aturan sosial yang kompleks yang tidak mudah diungkapkan melalui algoritma AI statistik murni.
- **Simulasi Berbasis Pengetahuan:** Dalam simulasi, Prolog dapat digunakan untuk merepresentasikan pengetahuan domain dan aturan interaksi. Sebagai contoh, dalam simulasi transportasi, ontologi dan Prolog dapat mendefinisikan konsep kendaraan, rute, dan konsumsi energi, yang kemudian digunakan oleh Python untuk mengeksekusi logika simulasi. Demikian pula, untuk simulasi dinamika P2P Lending, ontologi komprehensif (pemangku kepentingan, siklus pinjaman, faktor makroekonomi) dapat dimodelkan dalam Prolog.

11.5 10.2.3 Sinergi Ontologi-Prolog-Python untuk Implementasi TI yang Kuat

Kombinasi **Ontologi, Prolog, dan Python** menciptakan sinergi yang kuat untuk implementasi Triune Intelligence: * **Komputasi AI (Python)**: Python menangani tugas-tugas komputasi berat dan implementasi algoritma AI. * **Penalaran Logis (Prolog/NL)**: Prolog menyediakan lapisan penalaran logis yang mengintegrasikan pengetahuan deklaratif yang berasal dari NL. * **Nilai dan Konteks (Ontologi/CI)**: Ontologi menyediakan representasi formal dari konsep, hubungan, dan nilai-nilai yang membentuk Cultural Intelligence, memastikan sistem beroperasi dalam konteks yang selaras secara budaya dan etis.

Sinergi ini memungkinkan artefak cerdas TISE untuk tidak hanya melakukan tugas-tugas secara efisien (AI), tetapi juga untuk memahami konteks dan tujuan yang lebih dalam (CI) dan membuat keputusan yang diinformasikan oleh penalaran manusiawi (NL).

11.6 10.3 Quarto dan Mermaid: Dokumentasi dan Visualisasi Komprehensif

Dokumentasi yang jelas dan visualisasi yang efektif sangat penting dalam rekayasa sistem yang kompleks dan penulisan disertasi. Dalam kerangka TISE, **Quarto** dan **Mermaid** menawarkan solusi modern untuk kebutuhan ini.

11.7 10.3.1 Quarto: Sistem Publikasi Ilmiah Berbasis Markdown

Quarto adalah sistem publikasi ilmiah yang memungkinkan pembuatan buku, disertasi, artikel, presentasi, dan blog dengan sintaks Markdown. Ini mendukung integrasi kode dan *output* secara mulus, memfasilitasi reproduktifitas dan kolaborasi. Fitur-fitur utama Quarto meliputi: * **Penulisan Berbasis Markdown**: Memungkinkan penulisan konten teknis dan ilmiah dengan sintaks yang sederhana namun kuat. * **Integrasi Kode dan Output**: Dapat mengeksekusi kode dari berbagai bahasa (termasuk Python, R, Julia, Observable) dan menampilkan *output* (teks, tabel, grafik) langsung di dokumen. * **Dukungan untuk Elemen Ilmiah**: Memfasilitasi pembuatan tabel, gambar, kutipan, dan referensi silang, yang penting untuk publikasi ilmiah. * **Manajemen Proyek dan Lingkungan Virtual**: Mendukung pengaturan proyek, pengelolaan eksekusi, profil proyek, variabel lingkungan, skrip proyek, dan lingkungan virtual, yang sangat berguna untuk riset yang kompleks.

Dengan Quarto, seluruh proses penelitian, mulai dari analisis data hingga penulisan disertasi, dapat didokumentasikan dalam satu alur kerja yang kohesif, memastikan konsistensi dan kemudahan *reproducibility*.

11.8 10.3.2 Mermaid: Diagram Berbasis Teks untuk Visualisasi Cepat

Mer menggunakan sistem kontrol versi seperti Git, sama seperti kode program atau dokumen teks lainnya. * Peningkatan Kejelasan Visual**: Mermaid dapat digunakan untuk memvisualisasikan arsitektur TISE (misalnya, lapisan ASTF), siklus PUDAL, struktur sistem, alur kerja, dan interaksi komponen. Ini sangat meningkatkan kejelasan visual dari penjelasan konseptual dan teknis, yang merupakan kunci untuk komunikasi yang efektif dalam disertasi dan publikasi ilmiah.

Perlu dicatat bahwa meskipun Quarto dan Mermaid adalah alat yang sangat relevan dan sering digunakan dalam penulisan teknis modern, sumber-sumber yang diberikan untuk buku ini secara langsung tidak membahas Quarto atau Mermaid sebagai bagian dari kerangka TISE, melainkan sebagai alat bantu umum. Oleh karena itu, penyebutan ini didasarkan pada inferensi praktik terbaik dalam konteks penulisan buku dan disertasi teknis.

11.9 10.4 Peran Alat Bantu dalam Mengelola Kompleksitas SoAS dan LoA

Integrasi alat bantu ini sangat krusial dalam mengelola kompleksitas **System of Autonomous Systems (SoAS)**, terutama saat mempertimbangkan **Level of Autonomy (LoA)**. * **Taksonomi Sistem Otonom**: Taksonomi berdasarkan LoA memberikan gambaran yang lebih jelas tentang berbagai tingkat kemampuan otonom sistem, menghasilkan bahasa umum untuk berbagai disiplin ilmu rekayasa. Ontologi dan bahasa pemodelan formal dapat memfasilitasi pengembangan taksonomi ini. * **Dampak pada Kinerja Manusia**: Integrasi otonomi yang lebih tinggi ke dalam operasi SoS dapat memengaruhi kinerja manusia. Misalnya, LoA yang lebih rendah dapat menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik tetapi merugikan kinerja pengguna. Alat seperti Python (untuk simulasi) dan Ontologi/Prolog (untuk memodelkan perilaku dan batasan) dapat digunakan untuk mengevaluasi *trade-off* ini sebelum implementasi dunia nyata. Dokumentasi yang jelas dari desain SoAS dan keputusan LoA, difasilitasi oleh Quarto dan Mermaid, menjadi penting untuk menginformasikan operator manusia dan memastikan pemahaman bersama.

Secara keseluruhan, alat-alat yang dibahas dalam bab ini secara kolektif memberdayakan para insinyur dan peneliti TISE untuk merancang, mengembangkan, memvalidasi, dan mendokumentasikan artefak cerdas dengan cara yang sistematis, koheren, dan selaras dengan prinsip-prinsip Triune Intelligence.

12 Bab 11: Implementasi Praktis dan Studi Kasus TISE

Tentu, berikut adalah draf Bab 11 dari buku Anda:

Setelah menguraikan fondasi filosofis TISE (Bagian 1) dan metodologi rekayasanya yang komprehensif (Bagian 2), kini kita akan beralih ke implementasi praktis. Bab ini akan menyajikan kerangka kerja sistematis untuk menerapkan TISE, diikuti dengan dua studi kasus yang akan mengilustrasikan bagaimana paradigma ini dapat digunakan untuk merancang, mengembangkan, dan memvalidasi artefak cerdas. Studi kasus ini juga akan menunjukkan pemanfaatan alat bantu modern yang dibahas di Bab 10.

12.1 11.1 Kerangka Implementasi TISE secara Sistematis

Menerapkan paradigma TISE membutuhkan pendekatan yang terstruktur. Tabel berikut menguraikan kerangka kerja sistematis yang menghubungkan lapisan-lapisan TISE dengan tujuan, prinsip/teori, aktivitas kunci, artefak yang dihasilkan, dan metrik validasi. Ini berfungsi sebagai panduan praktis untuk setiap proyek rekayasa cerdas.

Tabel 11.1: Kerangka Implementasi TISE yang Sistematis

Lapisan Tujuan TISE Utama	Prinsip/Teori Pendukung	Aktivitas Kunci	Artefak yang Dihasilkan	Metrik Validasi (PICOC)
A Mengidenti- (Ap) ikasi masalah likasi) ata pemangku kepentingan, mendefin- isikan “MENGAPA” dari solusi, dan memahami dampak di dunia nyata.	Desain Berpusat pada Manusia (HCD), Desain Peka Nilai (VSD), Sistem Sosio-Teknikal (STS). Kecerdasan Kultural (CI) sebagai pendorong utama.	Survei pengguna, FGD (Focus Group Discussion) dengan pemangku kepentin- gan, analisis kebutuhan pasar.	Pernyataan masalah terdefinisi jelas, persyaratan fungsional & non- fungsional dari sudut pandang pemangku kepentingan.	P(A): Demografi pemangku kepentingan. I(A): Deskripsi solusi aplikasi. C(A): Kinerja solusi lama yang dirasakan. O(A): Peningkatan kepuasan pengguna, efisiensi yang dirasakan, pengurangan biaya. Cx(A): Lingkungan operasional aplikasi.

Lapisan Tujuan TIS Utama	Prinsip/Teori Pendukung	Aktivitas Kunci	Artefak yang Dihasilkan	Metrik Validasi (PICOC)
S Merancang (Sistem) sistem keseluruhan yang mengintegrasikan berbagai komponen dan teknologi untuk memenuhi kebutuhan aplikasi.	Triune-PUDAL Engine, Model Kolaborasi Manusia-AI (HAIC), STS, W-Model. Integrasi NI-CI-AI.	Pemodelan arsitektur sistem (misalnya, UML, SysML), simulasi sistem, desain antarmuka manusia-mesin.	Diagram arsitektur sistem, spesifikasi antarmuka, <i>testbed</i> simulasi.	P(S) : Data set uji, <i>testbed</i> simulasi, lingkungan urban simulasi. I(S) : Arsitektur sistem yang diusulkan. C(S) : Kinerja sistem <i>baseline</i> . O(S) : Akurasi, kecepatan, utilisasi sumber daya, keandalan sistem. Cx(S) : Persyaratan sistem <i>real-time</i> , kemampuan menangani beragam <i>input</i> .

Lapisan Tujuan TISE Utama	Prinsip/Teori Pendukung	Aktivitas Kunci	Artefak yang Dihasilkan	Metrik Validasi (PICOC)
T Mengem- (Teknologi) atau memilih teknologi kunci (mesin) yang efektif dalam melakukan tugas penting, berdasarkan prinsip-prinsip fundamental.	Core Engine, Triune-PUDAL Engine.	Pengembangan modul teknologi, pengujian <i>benchmark</i> , implementasi algoritma AI.	Algoritma AI, prototipe teknologi, modul perangkat keras.	P(T) : Data sensor mentah, sumber energi. I(T) : Algoritma AI baru, teknologi komunikasi <i>low-power</i> . C(T) : Algoritma/teknologi yang ada. O(T) : Akurasi lebih tinggi, tingkat <i>false positive</i> lebih rendah, masa pakai baterai lebih lama. Cx(T) : Tantangan akurasi deteksi dari data bising dengan daya minimal.

Lapisan Tujuan Utama	Prinsip/Teori Pendukung	Aktivitas Kunci	Artefak yang Dihasilkan	Metrik Validasi (PICOC)
F Menambah (Riset) F Ilmu da- pengetahuan men- tentang tal) realitas, menemukan prinsip-prinsip baru, atau memvalidasi teori yang menjadi dasar teknologi.	Teori Konversi PSKVE, Termodinamika, Teori Informasi, Matematika.	Eksperimen laboratorium, penurunan teoretis, pemodelan matematika, simulasi fundamental.	Pengetahuan baru, teori yang divalidasi, model fundamental.	P(F) : Fenomena propagasi sinyal, batas teoretis kompresi data. I(F) : Model matematika baru, pendekatan <i>information-theoretic</i> baru. C(F) : Model/teori yang ada. O(F) : Model prediktif yang lebih akurat, teorema baru. Cx(F) : Kesenjangan pengetahuan dalam pemahaman faktor fisiologis yang memengaruhi kualitas sinyal.

12.2 11.2 Studi Kasus 1: Sistem Komuter Cerdas Jakarta-Bandung

Studi kasus ini mendemonstrasikan bagaimana masalah rekayasa yang sangat besar dan kompleks dapat dipecah menjadi bagian-bagian yang dapat dikelola menggunakan kerangka ASTF, dan bagaimana Triune Intelligence beroperasi dalam setiap komponen.

- **Lapisan Aplikasi (A): Solusi Berbagi Kamar-Makanan-Perjalanan**

- **Masalah:** Pada tahun 2030, jutaan komuter akan melakukan perjalanan harian antara Jakarta dan Bandung yang melelahkan dan memakan waktu. Ini menciptakan kebutuhan mendesak akan solusi untuk istirahat, makan, dan perjalanan yang efisien.
- **Solusi yang Diusulkan:** Sebuah model bisnis “**berbagi kamar-makanan-perjalanan**” (*room-food-travel sharing*) yang terintegrasi untuk menyediakan akomodasi sementara (kapsul tidur), makanan yang nyaman (siap saji), dan perjalanan yang efisien dalam satu platform.
- **Peran Triune Intelligence:**
 - * **CI:** Mendefinisikan kebutuhan dan preferensi komuter terkait kenyamanan, privasi, dan kebersihan yang selaras dengan norma sosial dan budaya.
 - * **NI:** Terlibat dalam desain *user experience* (UX) untuk memastikan antarmuka yang intuitif dan memenuhi harapan manusia. Manusia sebagai pengambil keputusan akhir dalam memilih opsi berbagi.
 - * **AI:** Mendukung personalisasi rekomendasi kamar, makanan, dan rute berdasarkan riwayat dan preferensi pengguna.
- **Lapisan Sistem (S): Sistem Kapsul Tidur Komuter dan Makanan Siap Saji**
 - **Arsitektur Sistem:** Sebuah sistem terintegrasi yang terdiri dari: (1) Kapsul tidur (*Sleep-in-Capsules*) yang kompak dan nyaman di *hub* transportasi. (2) Layanan makanan siap saji (*Food-to-Go*) yang dapat dipesan sebelumnya. (3) Integrasi yang mulus dengan jaringan transportasi (kereta cepat, bus cerdas).
 - **Fungsi:** Mengubah *input* (permintaan komuter, energi, bahan makanan) menjadi *output* (istirahat, nutrisi, perjalanan efisien).
 - **Peran Triune Intelligence:**
 - * **CI:** Menentukan standar kebersihan, keamanan, dan *branding* layanan, serta tata kelola data yang sensitif.
 - * **NI:** Mengawasi operasi sistem, menangani pengecualian atau situasi darurat yang tidak dapat ditangani AI. Pengemudi manusia dalam skenario otonomi bersama dengan kendaraan (*shared autonomy*) yang optimal bisa jadi 40% manusia dan 60% kendaraan.
 - * **AI:** Mengelola alokasi kapsul secara dinamis, mengoptimalkan rute transportasi, dan memproses pesanan makanan *real-time*.
- **Lapisan Teknologi (T): Mesin Listrik, Dapur Otomatis, Uang Digital, Platform Pembiayaan Digital**
 - **Teknologi Kunci:**
 - * **Mesin Listrik** untuk menggerakkan kendaraan transportasi secara efisien dan berkelanjutan.
 - * **Dapur Otomatis** untuk produksi makanan massal yang cepat, konsisten, dan higienis.
 - * **Uang Digital** untuk transaksi yang lancar dan tanpa gesekan.
 - * **Platform Pembiayaan Digital** untuk mengelola arus kas, investasi, dan keberlanjutan ekonomi jangka panjang dari seluruh sistem.

- **Peran Triune Intelligence:**
 - * **CI:** Menentukan persyaratan keamanan siber untuk uang digital, standar kebersihan dapur, dan keberlanjutan energi yang selaras dengan kebijakan publik.
 - * **NI:** Terlibat dalam desain dan *tuning* mesin listrik, kalibrasi dapur otomatis, serta pengembangan algoritma keamanan untuk transaksi digital.
 - * **AI:** Mengoptimalkan kinerja mesin listrik (misalnya, efisiensi energi), mengontrol proses dapur otomatis, dan memproses transaksi uang digital secara aman dan efisien.
- **Lapisan Riset Fundamental (F): Prinsip Optimasi dan Konversi Nilai**
 - **Prinsip yang Diteliti:**
 - * **Tingkat Jam Kerja Manusia Minimum:** Prinsip ekonomi industri untuk meminimalkan *input* tenaga kerja manusia tanpa mengorbankan kualitas.
 - * **Optimasi Jadwal Waktu:** Prinsip dari riset operasi untuk memaksimalkan *throughput* dan meminimalkan waktu tunggu.
 - * **Alokasi Sumber Daya:** Prinsip dari teori sistem untuk mendistribusikan sumber daya terbatas (kapsul, bahan makanan, energi) secara optimal.
 - * **Teori Konversi Nilai PSKVE:** Teori fundamental dari TISE tentang bagaimana berbagai bentuk “energi” (Produk, Layanan, Pengetahuan, Nilai, Lingkungan) dapat ditransaksikan untuk menciptakan nilai holistik.
 - **Peran Triune Intelligence:**
 - * **CI:** Memandu arah penelitian untuk menemukan prinsip yang mendukung keberlanjutan dan keadilan sosial dalam alokasi sumber daya.
 - * **NI:** Memformulasikan hipotesis, merancang eksperimen teoretis, dan menginterpretasikan hasil untuk mengembangkan pengetahuan baru.
 - * **AI:** Mendukung simulasi kompleks untuk menguji model optimasi, menganalisis data besar untuk menemukan pola baru dalam konversi nilai, atau memprediksi perilaku sistem yang kompleks (misalnya, lalu lintas).

12.3 11.3 Studi Kasus 2: Analisis Sistem Rekomendasi Makanan Sehat (MSRS)

Studi kasus ini adalah contoh sempurna penerapan TISE pada masalah sosio-teknis yang sangat kompleks, menunjukkan bagaimana Triune Intelligence, PUDAL, dan PSKVE bekerja sama untuk menciptakan solusi yang berpusat pada manusia.

- **Masalah (Konteks PSKVE):** Memenuhi kebutuhan pangan lokal yang sehat menghadapi tantangan multi-dimensi.
 - **Produk & Layanan:** Sulit menghasilkan makanan yang sesuai dengan profil kesehatan spesifik (misalnya, diabetes, hipertensi) dan selera lokal.

- **Nilai:** Makanan sehat seringkali tidak terjangkau karena rantai pasok yang tidak efisien.
- **Lingkungan:** Praktik pertanian dan peternakan seringkali tidak berkelanjutan.
- **Pengetahuan:** Kurangnya data tentang kebutuhan konsumen dan inovasi produk lokal yang sehat.
- **Solusi (Berbasis Triune Intelligence):** Sebuah *marketplace* makanan sehat yang berfungsi sebagai ekosistem yang menghubungkan berbagai pemangku kepentingan, dengan **MSRS (Multi-Stakeholder Recommendation System)** sebagai komponen AI.
 - **Triune Intelligence diwujudkan melalui kolaborasi antara:**
 - * **Kecerdasan Manusia (NI):** Konsumen (dengan kebutuhan dan preferensinya), Chef/Ahli Kuliner (dengan kreativitas dan kearifan lokalnya), UMKM Pangan (dengan kapasitas produksinya).
 - * **Kecerdasan Budaya (CI):** Otoritas Gizi & Agama (dengan standar dan pedomannya), budaya makanan lokal, nilai-nilai keberlanjutan.
 - * **Kecerdasan Buatan (AI):** Algoritma rekomendasi MSRS, sistem manajemen rantai pasok.
- **PSKVE Conversion:** Sistem ini secara aktif mengelola konversi PSKVE:
 - **Inovasi (Knowledge)** dari *chef* diubah menjadi **Product** baru (resep makanan sehat).
 - **Product** ini kemudian memberikan **Service** kesehatan (makanan siap saji sesuai diet) kepada konsumen.
 - Ini menghasilkan **Value** ekonomi bagi UMKM dan operator *marketplace*.
 - Semua ini dilakukan dengan tujuan menggunakan bahan baku yang berkelanjutan (**Environmental**).
- **Triune-PUDAL dalam MSRS:**
 - **Perceive:** AI mengumpulkan data tentang preferensi konsumen, ketersediaan bahan baku, resep, dan standar gizi. NI/CI membantu menentukan data apa yang relevan.
 - **Understand:** AI memproses data untuk mengidentifikasi pola, sementara CI (melalui standar gizi dan budaya makanan) memberikan konteks untuk memahami kebutuhan diet dan preferensi rasa. NI menginterpretasikan tren kesehatan.
 - **Decision-making & Planning:** NI (chef, ahli gizi) membuat keputusan tentang resep baru atau rekomendasi yang dipersonalisasi. AI mengoptimalkan rekomendasi untuk kesesuaian diet dan ketersediaan, dengan CI memastikan kepatuhan etis dan budaya.
 - **Act-Response:** AI memfasilitasi pemesanan, produksi, dan pengiriman makanan yang direkomendasikan.
 - **Learning-evaluating:** Kinerja penjualan dan ulasan dari item baru ini menjadi masukan baru bagi MSRS, menciptakan siklus perbaikan berkelanjutan. AI men-

gukur metrik teknis, CI mengevaluasi terhadap tujuan nilai, dan NI merefleksikan keputusannya.

12.4 11.4 Pemanfaatan Alat Bantu dalam Studi Kasus

Alat bantu yang dibahas di Bab 10 berperan krusial dalam implementasi praktis TISE, terutama dalam pemodelan, simulasi, penalaran logis, dan dokumentasi sistem yang kompleks.

- **Python (Implementasi AI & Simulasi):**
 - **Simulasi Alternatif Transportasi (Bandung-Jakarta 2030):** Python mengeksekusi logika simulasi, menghitung biaya, emisi, dan waktu tempuh untuk berbagai skenario transportasi. Ini memungkinkan pengujian hipotesis di Lapisan Sistem (S) dan Lapisan Fundamental (F). Pustaka seperti **SymPy** dapat digunakan untuk memodelkan dinamika fisika atau optimasi matematis yang mendasari sistem transportasi.
 - **Simulasi Dinamika P2P Lending:** Python digunakan untuk mensimulasikan perilaku agen (*agent-based modeling*) berdasarkan *multiplier* yang diinformasikan oleh ontologi di berbagai skenario ekonomi. Ini membantu memahami bagaimana keputusan ekonomi memengaruhi kesehatan finansial rumah tangga (Studi Kasus Rumah Cerdas).
- **Ontologi dan Prolog (Representasi Pengetahuan & Penalaran Logis):**
 - **Ontologi:** Untuk kedua studi kasus, ontologi dapat digunakan untuk menciptakan **konseptualisasi bersama** dari domain masalah.
 - * Pada transportasi, ontologi dapat mendefinisikan konsep kendaraan, rute, jenis energi, dan aturan lalu lintas yang berasal dari **CI**.
 - * Pada MSRS, ontologi dapat memformalkan definisi nutrisi, alergen, preferensi diet, dan standar makanan halal/kosher yang berasal dari **CI**, serta sifat-sifat bahan baku yang berasal dari **NI**. Ini memastikan keselarasan semantik dan mengurangi bias dalam sistem AI.
 - **Prolog:** Menyediakan kemampuan **penalaran logis** berdasarkan ontologi.
 - * Dalam simulasi transportasi, Prolog dapat digunakan untuk memodelkan aturan keputusan untuk kendaraan otonom atau sistem manajemen lalu lintas berdasarkan kondisi yang didefinisikan dalam ontologi.
 - * Dalam MSRS, Prolog dapat digunakan untuk menyimpulkan rekomendasi makanan yang memenuhi batasan diet kompleks dan preferensi individu.
- **Quarto (Dokumentasi Komprehensif):**
 - Meskipun tidak secara eksplisit disebut dalam sumber sebagai alat TISE, Quarto sangat relevan untuk dokumentasi seluruh proyek TISE. Semua fase proyek—dari

definisi masalah di Lapisan Aplikasi hingga temuan riset fundamental—dapat didokumentasikan dalam satu format yang kohesif dan reproduktif. Ini mencakup narasi, kode Python untuk simulasi, dan hasil analisis data.

- **Mermaid (Visualisasi Arsitektur & Alur Kerja):**
 - Mermaid memungkinkan pembuatan diagram berbasis teks yang mudah diintegrasikan ke dalam dokumen Quarto. Ini membantu dalam memvisualisasikan arsitektur sistem yang kompleks dan alur kerja dalam kedua studi kasus:
 - * Untuk transportasi, diagram alur perjalanan komuter, arsitektur sistem kapsul tidur dan dapur otomatis, atau diagram interaksi antara komponen TI.
 - * Untuk MSRS, diagram arsitektur sistem rekomendasi, alur proses PUDAL, atau diagram interaksi antar pemangku kepentingan di *marketplace*.

12.5 11.5 Tantangan Otonomi dan Kinerja Manusia dalam Sistem Cerdas

Implementasi praktis sistem cerdas, terutama *System of Autonomous Systems* (SoAS), menghadirkan tantangan signifikan terkait otonomi dan kinerja manusia. TISE secara proaktif mengatasi hal ini:

- **Kinerja Operator:** Penelitian menunjukkan bahwa *Level of Autonomy* (LoA) yang lebih rendah, di mana manusia terlibat lebih banyak, kadang-kadang dapat menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik tetapi merugikan kinerja operator manusia. Ini berarti bahwa tingkat otomatisasi yang tinggi, meskipun meningkatkan kapabilitas otonom, dapat meningkatkan beban kognitif dan kelelahan mental manusia.
- **Keamanan Sistem Otomotif:** Dalam transportasi darat, integrasi kendaraan otonom menimbulkan masalah keamanan dan keamanan data. Misalnya, waktu reaksi yang lebih rendah dari kendaraan konvensional dapat menjadi faktor utama tabrakan dari belakang. Delaurentis menemukan bahwa titik operasi optimal dalam *automotive swarm* adalah ketika kontrol terbagi 40% manusia dan 60% kendaraan.
- **Pendekatan TISE:** Filosofi TISE, “Engineers empower humans”, secara langsung mengatasi masalah ini. TISE tidak berupaya menghilangkan manusia, melainkan mengoptimalkan kolaborasi antara NI, CI, dan AI.
 - Dalam konteks *shared autonomy* (seperti dalam transportasi darat), TISE dapat merancang sistem yang mencapai titik optimal seperti 40% manusia dan 60% kendaraan dengan mengintegrasikan keputusan AI untuk efisiensi dan kecepatan, dengan pengawasan dan intervensi NI untuk keamanan dan pertimbangan etis yang lebih tinggi.
 - Simulasi (*multi-UAV planning, agent-based design, swarm planning optimization*) dapat digunakan untuk menganalisis perilaku SoAS dan dampak LoA. Alat bantu

seperti Python, Ontologi, dan Prolog menjadi sangat penting dalam memodelkan dan mensimulasikan skenario ini untuk mengidentifikasi LoA optimal dan meminimalkan dampak negatif pada kinerja manusia.

Melalui penerapan kerangka sistematis, studi kasus nyata, dan pemanfaatan alat bantu canggih, TISE menyediakan jalur yang jelas bagi para insinyur dan peneliti untuk membangun artefak cerdas yang tidak hanya canggih secara teknologi tetapi juga bertanggung jawab secara sosial, berkelanjutan secara ekologis, dan berpusat pada pemberdayaan manusia.

13 Bab 12: Tantangan dan Arah Penelitian Masa Depan dalam TISE

Tentu, berikut adalah draf Bab 12 dari buku Anda, yang membahas tantangan dan arah penelitian masa depan dalam paradigma Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE), dengan mengacu pada semua sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita:

Paradigma Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE) telah menyajikan kerangka kerja yang komprehensif untuk merancang artefak cerdas yang berpusat pada manusia di era Kecerdasan Buatan (AI). Namun, seperti halnya setiap pendekatan inovatif, TISE juga menghadapi tantangan yang signifikan dan membuka berbagai jalan untuk penelitian di masa depan. Bab ini akan membahas tantangan-tantangan ini dan menguraikan arah-arrah penelitian yang prospektif yang akan memperkaya dan mengembangkan kerangka TISE lebih lanjut.

13.1 12.1 Tantangan dalam Mengukur dan Menyeimbangkan Kecerdasan Triune (NI, CI, AI)

Salah satu tantangan inheren dalam TISE adalah sifat kompleks dan seringkali *lunak* (soft) dari metrik yang terkait dengan **Kecerdasan Kultural (CI)** dan **Kecerdasan Alami (NI)**. Meskipun Kecerdasan Buatan (AI) dapat diukur dengan metrik kinerja teknis yang jelas (misalnya, akurasi, kecepatan), pengukuran dimensi budaya, etika, dan pengalaman manusia jauh lebih sulit.

- **Pengukuran Metrik CI yang “Lembut”:** Mengukur dampak dan kontribusi CI terhadap sebuah artefak cerdas TISE merupakan tantangan tersendiri. Bagaimana kita mengukur “nilai kolektif,” “kearifan,” atau “keselarasan etis” secara kuantitatif? Metrik seperti **Pertumbuhan Knowledge-Graph** (jumlah triple yang divalidasi per bulan dari CI) dan **Indeks Penyelarasan Keputusan** (persentase keputusan yang mengutip masukan dari NI, CI, dan AI) telah diusulkan. Namun, pengembangan metodologi yang lebih kuat dan standar untuk mengkuantifikasi aspek-aspek ini tetap menjadi area penelitian utama.

- **Pembobotan yang Adil Antar-Kutub Kecerdasan:** Memastikan pembobotan yang adil dan dinamis antar-kutub kecerdasan (NI, CI, AI) dalam proses pengambilan keputusan dan penciptaan nilai adalah krusial. Bagaimana kita menentukan kontribusi relatif dari NI, CI, dan AI dalam sebuah keputusan sistem? Penelitian perlu mengeksplorasi model alokasi bobot adaptif yang dapat berubah berdasarkan konteks, Level of Autonomy (LoA) sistem, dan sensitivitas terhadap nilai-nilai manusia.

13.2 12.2 Pengembangan Taksonomi Komprehensif untuk *System of Autonomous Systems (SoAS)*

Integrasi otonomi ke dalam sistem yang lebih besar, khususnya *System of Autonomous Systems (SoAS)*, telah meningkatkan kapabilitas otonom, namun juga menciptakan kompleksitas baru.

- **Kebutuhan Taksonomi LoA:** Diperlukan pengembangan taksonomi yang komprehensif untuk SoAS yang mempertimbangkan otonomi manajerial dan operasional. Taksonomi berdasarkan *Level of Autonomy (LoA)* memberikan gambaran yang lebih jelas tentang berbagai tingkat kemampuan otonom sistem, menghasilkan bahasa umum untuk berbagai disiplin ilmu rekayasa. Sebuah SoAS dapat diberi peringkat lebih tinggi dalam LoA jika sistemnya mampu melakukan lebih banyak tugas misi secara mandiri.
- **Peran AI dalam Kooperasi SoAS:** SoAS menggunakan algoritma kerja sama AI, membuat sistem berkolaborasi dalam melakukan tugas misi. Penelitian di masa depan harus fokus pada pengembangan taksonomi yang dapat mengklasifikasikan dan mengevaluasi algoritma kerja sama AI ini, serta mengukur bagaimana tingkat otonomi dalam SoAS memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Sumber juga mengutip penelitian tentang taksonomi untuk sistem otonom.

13.3 12.3 Formalisasi Kerangka Kerja untuk Penutupan Sistem

Sistem dalam konteks rekayasa TISE seringkali berinteraksi dengan lingkungannya, dan pemahaman yang jelas tentang “penutupan” sistem ini sangat penting untuk stabilitas dan prediktabilitas.

- **Kerangka Kerja Formal:** Diperlukan kerangka kerja formal untuk hubungan antara berbagai jenis penutupan sistem (fungsional, informasional). Misalnya, penelitian telah dilakukan untuk formalisasi teoretis sistem tertutup, khususnya dalam hal penutupan informasional. Sebuah teorema menunjukkan hubungan untuk tingkat informasi bersama (*mutual information*) yang disajikan di batas sistem tertutup secara informasional. Untuk menjaga penutupan pada keadaan $n + 1$, keluaran sistem tertutup ke lingkungan pada keadaan n (jumlah informasi yang ditransmisikan dari sistem ke lingkungannya) harus mengikuti teorema ini.

- **Jenis Penutupan:** Selain penutupan informasional, penelitian di masa depan perlu mendefinisikan dan memformalkan jenis penutupan lainnya, seperti penutupan fungsional atau struktural, dan bagaimana mereka berinteraksi dalam sistem sosio-teknis TISE. Ini akan membantu dalam merancang sistem yang lebih mandiri dan kuat terhadap gangguan eksternal.

13.4 12.4 Peningkatan Interoperabilitas Alat dan Standardisasi Bahasa Pemodelan untuk Penggunaan Ulang Pola

Meskipun Bab 10 membahas alat bantu yang efektif, peningkatan berkelanjutan dalam interoperabilitas dan standardisasi sangat penting untuk efisiensi rekayasa TISE.

- **Interoperabilitas Alat:** Peningkatan interoperabilitas antar alat rekayasa dan simulasi akan mempercepat proses pengembangan. Tantangan dalam Model-Based Systems Engineering (MBSE) mencakup kurangnya dukungan untuk implementasi MBSE yang efisien. Integrasi yang mulus antara Python untuk simulasi, Ontologi dan Prolog untuk penalaran berbasis pengetahuan, dan alat dokumentasi seperti Quarto dan Mermaid, perlu terus dikembangkan.
- **Standardisasi Bahasa Pemodelan:** Standardisasi bahasa pemodelan untuk penggunaan ulang pola (*reuse patterns*) adalah area penelitian yang menjanjikan. Penggunaan pola rekayasa dalam kerangka MBSE dapat membantu dalam kapitalisasi dan penggunaan ulang pengetahuan. Ontologi, dengan kemampuannya menciptakan konseptualisasi bersama dan semantik umum [Bab 10 dalam riwayat percakapan], dapat menjadi dasar untuk standardisasi ini, memungkinkan definisi pola rekayasa TISE (misalnya, pola PUDAL, ASTF) yang dapat digunakan kembali di berbagai proyek.

13.5 12.5 Implikasi LoA terhadap Kinerja Operator dan Sistem

Integrasi otonomi ke dalam operasi *System of Systems* (SoS) telah meningkatkan kapabilitas otonom, namun dapat memengaruhi kinerja manusia.

- **Dampak pada Kinerja Manusia:** Penelitian menunjukkan bahwa *Level of Autonomy* (LoA) yang lebih rendah dapat menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik tetapi merugikan kinerja pengguna. LoA sebagai faktor kompleksitas memiliki dampak signifikan pada kinerja operator dan sistem, dan karenanya memengaruhi kinerja SoAS.
- **Optimasi Kolaborasi Manusia-AI:** Arah penelitian masa depan harus berfokus pada menemukan titik *sweet spot* (keseimbangan optimal) antara otomatisasi dan intervensi manusia, terutama dalam konteks Triune Intelligence. TISE, dengan filosofi “Engineers empower humans,” bertujuan untuk mengoptimalkan kolaborasi NI-CI-AI, bukan menggantikan manusia. Ini akan melibatkan penelitian tentang bagaimana LoA yang

berbeda memengaruhi beban kognitif manusia, kepercayaan, dan efektivitas secara keseluruhan dalam sistem berbasis TISE. Simulasi, seperti yang digunakan dalam perencanaan multi-UAV (*multi-UAV planning*) dan analisis berbasis agen (*agent-based analysis*), akan menjadi alat penting untuk menguji berbagai tingkat LoA dan dampaknya pada kinerja manusia-sistem.

13.6 12.6 Arah Penelitian Lanjutan di Berbagai Lapisan ASTF

Kerangka ASTF TISE menyediakan peta jalan yang jelas untuk penelitian di masa depan di setiap lapisannya.

- **Lapisan Riset Fundamental (F):** Penelitian dapat terus menggali prinsip-prinsip dasar yang mendukung setiap kecerdasan. Ini termasuk Fraktal Processing, Multifraktal Processing, dan teori-teori baru yang mendukung Rekayasa Sistem Pemrosesan Sinyal (SPS) dan Rekayasa PSKV.
- **Lapisan Teknologi (T):** Pengembangan teknologi baru untuk mewujudkan artefak TISE akan terus menjadi fokus. Ini bisa meliputi robotika, teknologi untuk ruang hidup cerdas (*smart living engineering*), dan teknologi untuk ruang spiritual cerdas (*smart spiritual engineering*).
- **Lapisan Sistem (S):** Desain arsitektur sistem yang lebih adaptif, tangguh, dan terintegrasi, yang mampu mengelola interaksi kompleks antara NI, CI, dan AI dalam berbagai domain aplikasi (misalnya, sistem kesehatan, transportasi, energi).
- **Lapisan Aplikasi (A):** Aplikasi TISE yang inovatif dalam domain seperti masyarakat sadar Covid, pasar *home care*, rumah sehat cerdas, pasar produktivitas *home learning*, ekonomi rumah tangga berbasis virtual, dan pasar kreatif spiritual.

13.7 12.7 Kesimpulan: Menuju Masa Depan Rekayasa yang Lebih Cerdas dan Bertanggung Jawab

TISE telah menetapkan dasar yang kuat untuk rekayasa cerdas yang berpusat pada manusia, sadar nilai, dan berkelanjutan. Namun, perjalanan untuk sepenuhnya mewujudkan potensi paradigma ini masih panjang. Tantangan dalam pengukuran, formalisasi, interoperabilitas, dan optimasi kolaborasi manusia-AI menuntut upaya penelitian yang berkelanjutan dan terkoordinasi. Dengan terus mengeksplorasi arah-arrah ini, komunitas rekayasa dapat memperkuat TISE, menciptakan artefak cerdas yang tidak hanya canggih secara teknis tetapi juga bertanggung jawab secara etis dan memberdayakan manusia untuk menjalani kehidupan yang lebih istimewa di abad ke-21.

14 Bab 13: Etika dan Tanggung Jawab dalam Rekayasa TISE

Tentu, berikut adalah draf Bab 13 dari buku Anda, yang membahas Etika dan Tanggung Jawab dalam Rekayasa TISE:

Paradigma Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE) pada intinya adalah sebuah filosofi rekayasa yang berpusat pada manusia, sadar nilai, dan berkelanjutan. Setelah membahas metodologi inti TISE dan implementasi praktisnya, bab ini akan mengeksplorasi dimensi etika dan tanggung jawab yang melekat dalam kerangka TISE. Mengintegrasikan Kecerdasan Buatan (AI) ke dalam sistem yang kompleks menimbulkan berbagai pertanyaan etis yang harus dijawab secara proaktif. TISE menyediakan landasan untuk memastikan bahwa teknologi tidak hanya kuat dan cerdas, tetapi juga adil, transparan, akuntabel, dan memberdayakan manusia.

14.1 13.1 Filosofi TISE: Memberdayakan Manusia dan Selaras dengan Nilai

Filosofi inti TISE adalah “**Engineers empower humans**”. Manusia diposisikan sebagai pusat, subjek, dan tujuan akhir rekayasa cerdas, bukan sebagai objek yang dieliminasi demi efisiensi. Tujuan utama TISE melampaui sekadar memecahkan masalah teknis; ia bertujuan untuk membangun “teater kehidupan yang megah” (*splendid theaters of life*) bagi umat manusia, yaitu lingkungan dan sistem yang memungkinkan manusia menjalani eksistensi yang bermakna, kreatif, dan sejahtera secara holistik.

Prinsip pemberdayaan ini memiliki implikasi etis yang mendalam: * **Fokus pada Kapabilitas, Bukan Kekurangan:** Desainer harus bekerja pada kapabilitas pelanggan, bukan pada kesenjangan atau defisiensi mereka. Desain harus menjadi alat yang memfasilitasi cara bagi orang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri, memberikan solusi seumur hidup. * **Teknologi sebagai Perluasan Diri:** Esensi teknologi adalah memberdayakan kekuatan alam untuk membesarkan kapasitas manusia, bukan untuk menggantikan mereka sepenuhnya. Ini berarti teknologi yang dirancang dengan TISE harus selaras dengan tubuh manusia (*natural intelligence*) dan budaya (*cultural intelligence*).

14.2 13.2 Desain Peka Nilai (Value-Sensitive Design) dalam TISE

TISE secara eksplisit mengintegrasikan **Desain Peka Nilai (Value-Sensitive Design - VSD)** sebagai metodologi implementasi. VSD adalah pendekatan desain yang secara proaktif dan sistematis memasukkan nilai-nilai kemanusiaan, terutama nilai etika dan moral, ke dalam seluruh siklus hidup desain teknologi. TISE memperluas dan memformalkan VSD dalam konteks rekayasa sistem cerdas dengan menyediakan mekanisme konkret:

- **Homocordium sebagai Kompas Moral:** Komponen **Kecerdasan Manusia (Natural Intelligence - NI)**, yang disebut **Homocordium**, merepresentasikan dimensi “hati” manusia: nilai-nilai, etika, moralitas, empati, kreativitas, intuisi, dan tujuan spiritual. Homocordium berfungsi sebagai kompas moral dan sumber utama definisi “masalah penting manusia” yang perlu dipecahkan.
- **Kecerdasan Kultural (CI) untuk Konteks Etis:** **Kecerdasan Kultural (CI)** menyediakan konteks, tujuan, nilai kolektif, dan kearifan masyarakat. CI membantu mengartikulasikan dan mengukur dimensi nilai yang sulit diukur, seperti modal sosial, kepercayaan, atau kesehatan ekologis, dan memasukkannya ke dalam kerangka PSKVE. Dalam proses validasi, CI memastikan bahwa hasil mencakup penerimaan pengguna, kepatuhan etis, dan adaptabilitas budaya.
- **PUDAL Engine yang Sadar Nilai:** Mesin Triune-PUDAL yang ditingkatkan oleh NI, CI, dan AI dirancang secara eksplisit untuk memiliki kapasitas “bertindak etis dan tidak bias secara budaya”. Sistem belajar tidak hanya untuk menjadi lebih akurat, tetapi juga untuk menjadi lebih “baik”—lebih adil, lebih etis, dan lebih berkelanjutan.

TISE menjawab tantangan terbesar VSD, yaitu bagaimana menerapkannya pada sistem skala besar dan kompleks seperti *smart cities*. TISE menawarkan solusi melalui dekomposisi **ASTF** untuk menganalisis implikasi nilai di setiap lapisan, kerangka **PSKVE** untuk menyeimbangkan keragaman nilai yang seringkali saling bertentangan (misalnya, efisiensi vs. privasi), dan kerangka **PICOC Berlapis** untuk memvalidasi secara empiris apakah nilai-nilai yang diinginkan benar-benar terwujud dan memberikan hasil yang terukur pada artefak yang dibangun.

14.3 13.3 Mengatasi Masalah Penyelarasan Nilai (Value Alignment Problem) AI

Salah satu masalah etis paling krusial dalam pengembangan AI adalah **masalah penyelarasan nilai** (*value alignment problem*). Ini adalah tantangan untuk memastikan bahwa tujuan dan perilaku sistem AI selaras dengan nilai-nilai, etika, dan tujuan kemanusiaan. Kegagalan dalam penyelarasan dapat menyebabkan AI menghasilkan keputusan yang bias, tidak adil, atau bahkan berbahaya, meskipun secara teknis berhasil mencapai tujuan yang diprogramkan.

TISE menawarkan solusi struktural untuk masalah ini. Alih-alih mencoba “menyelaraskan” AI sebagai langkah terakhir atau terpisah, TISE **menanamkan nilai-nilai kemanusiaan sejak awal proses rekayasa melalui *Value-Driven Problem Formulation***. Ini berarti penyelarasan nilai bukanlah fitur tambahan, melainkan properti fundamental yang melekat dalam arsitektur kognitif dan proses pengembangan artefak itu sendiri. TISE mengubah *value alignment* dari sebuah masalah yang harus dipecahkan menjadi sebuah prinsip yang harus dirancang sejak awal.

14.4 13.4 Akuntabilitas, Transparansi, dan Kolaborasi Manusia-AI

Dalam sistem yang semakin otonom, pertanyaan tentang siapa yang bertanggung jawab ketika sistem membuat kesalahan menjadi sangat penting. TISE menekankan akuntabilitas dan transparansi melalui:

- **Desain *Human-in-the-Loop* (HITL)**: TISE mengadopsi arsitektur HITL dalam implementasi PUDAL, yang melibatkan manusia dalam berbagai tahapan, mulai dari *pre-processing*, *in-the-loop (blocking)*, hingga *post-processing* dan *parallel feedback (non-blocking)*. Ini memastikan bahwa manusia memiliki pengawasan dan kemampuan intervensi pada titik-titik kritis.
- **Kolaborasi Simbiotik**: TISE menyediakan kerangka kerja yang fleksibel untuk berbagai mode kolaborasi Manusia-AI (Human-Centric, Symbiotic, AI-Centric). Ini mengarah pada optimasi titik *sweet spot* antara otomatisasi dan intervensi manusia, di mana keputusan AI untuk efisiensi dan kecepatan diimbangi dengan pengawasan dan intervensi NI untuk keamanan dan pertimbangan etis yang lebih tinggi [konversasi sebelumnya, tidak ada di new sources secara eksplisit, namun konsisten dengan filosofi].
- **Penjelasan (*Explainability*) AI**: AI dalam TISE berfokus pada *digital twin* dan orkestrator keputusan dengan API *explainability*. Kemampuan AI untuk menjelaskan pilihan-pilihannya dalam bahasa CI sangat penting untuk membangun kepercayaan pengguna dan memastikan transparansi.
- **Komunikasi yang Kolokial**: Penting untuk tidak berasumsi bahwa pengguna akhir akrab dengan bahasa formal yang umum digunakan oleh kalangan teknis. Representasi visual dari kasus penggunaan harus menggunakan notasi yang lebih “kolokial” ketika diarahkan kepada pengguna akhir, yang dapat dihubungkan dengan informasi tentang perilaku sistem yang sesuai dengan setiap langkah tindakan pengguna. Ini adalah bagian dari tanggung jawab untuk membuat sistem mudah dipahami dan transparan bagi semua pemangku kepentingan.

14.5 13.5 Mengelola Risiko dan Keamanan dalam Sistem Cerdas

Integrasi otonomi ke dalam *System of Systems* (SoS) telah menimbulkan tantangan dalam verifikasi dan validasi, terutama dengan adanya masalah khusus dari sistem berbasis AI. Masalah yang belum terpecahkan dalam keselamatan *Machine Learning* (ML) terus menjadi perhatian utama.

- **Validasi Berbasis Bukti:** Metodologi PICOC berlapis TISE menyediakan kerangka kerja yang ketat untuk validasi berbasis bukti, memastikan bahwa artefak cerdas TISE *realistis* dan *dapat dipercaya* dalam praktiknya. Setiap lapisan ASTF divalidasi dengan PICOC, menciptakan rantai bukti yang logis dari riset fundamental hingga dampak pada pengguna.
- **Pengujian Komprehensif:** Peran AI dalam PICOC mencakup pembuatan pengujian otomatis (misalnya, menghasilkan skenario atau kasus ekstrem) dan deteksi anomali dalam hasil pengujian. Ini membantu mengidentifikasi potensi kegagalan dan kerentanan keamanan sebelum sistem diterapkan.
- **Pertimbangan Konteks dan Sosial:** CI memastikan bahwa validasi mencakup penerimaan pengguna dan kepatuhan etis. Ini sangat penting dalam desain sistem AI-enabled, seperti sistem kedirgantaraan, yang memiliki tantangan rekayasa sistem yang signifikan.

14.6 13.6 Peran Insinyur TISE sebagai Vokator Etis

TISE mempersiapkan para insinyur dan peneliti untuk menjadi “**Vokator**”—seseorang yang menyuarakan kebenaran yang ditemukan melalui riset yang bertanggung jawab dan membangun kehidupan istimewa di tengah disrupsi abad ke-21. Menjadi seorang Vokator dalam konteks TISE berarti: * **Memahami Esensi Disrupsi:** Vokator memahami esensi disrupsi dan mampu menuntun masyarakat menghadapinya. * **Manusia Hati (Homocordium):** Dalam menghadapi disrupsi teknologi yang menghilangkan nilai dari kekuatan otot dan keterampilan berpikir, Vokator adalah manusia hati, *Homocordium*. Ini menekankan dimensi etis dan moral sebagai inti dari identitas insinyur TISE.

Dengan demikian, etika dan tanggung jawab bukanlah tambahan opsional dalam Rekayasa TISE, melainkan merupakan benang merah yang terjalin erat dalam setiap aspek filosofi, metodologi, dan implementasinya. TISE membimbing para insinyur untuk menciptakan sistem yang tidak hanya secara teknis canggih tetapi juga secara fundamental etis, bertanggung jawab, dan memberdayakan seluruh umat manusia.

15 Bab 14: Kesimpulan: Visi Rekayasa Simbiotik dan Pemberdayaan Manusia

Tentu, berikut adalah draf Bab 14 dari buku Anda, yang berfungsi sebagai kesimpulan komprehensif:

Kita telah menempuh perjalanan yang panjang dan mendalam melalui paradigma **Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)**. Dimulai dari identifikasi kebutuhan akan pendekatan rekayasa yang lebih holistik di tengah kompleksitas Abad ke-21, hingga menjelajahi fondasi filosofis, metodologi yang ketat, implementasi praktis, serta tantangan dan implikasi etisnya. Bab terakhir ini akan merangkum visi inti TISE, mengulang kembali pilar-pilar utamanya, dan menegaskan kembali perannya dalam membentuk masa depan rekayasa yang lebih cerdas, bertanggung jawab, dan berpusat pada manusia.

15.1 14.1 Mengulang Kembali Visi Inti TISE: Rekayasa untuk Kehidupan Istimewa

Pada intinya, TISE adalah sebuah manifestasi dari keyakinan bahwa **“Engineers empower humans”**. Ini bukan sekadar moto; ini adalah komitmen filosofis yang mendasari setiap aspek paradigma ini. TISE menggeser fokus rekayasa dari sekadar *problem-solving* menjadi *capability-building*, dengan tujuan utama menciptakan “teater kehidupan yang megah” (*splendid theaters of life*) bagi umat manusia [Prakata buku]. Ini berarti merancang lingkungan dan sistem yang tidak hanya mengatasi masalah, tetapi juga memperluas potensi manusia untuk menjalani kehidupan yang istimewa, kreatif, aman, sehat, dan berkelanjutan.

15.2 14.2 Pilar-Pilar Utama TISE: Sebuah Sintesis

TISE menyajikan pendekatan yang **seimbang, partisipatif, dan selaras nilai** untuk rekayasa di era AI, mengintegrasikan tiga pilar kecerdasan secara eksplisit:

- **Kecerdasan Alami (Natural Intelligence - NI):** Representasi hati nurani, nilai, etika, dan kreativitas manusia (Homocordium). NI memberikan “**WHAT**”—kemampuan pengambilan keputusan dan kontribusi orisinal.
- **Kecerdasan Budaya (Cultural Intelligence - CI):** Representasi kearifan kolektif, tujuan, dan nilai-nilai sosial. CI memberikan “**WHY**”—persepsi, pemahaman, dan tata kelola.
- **Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence - AI):** Representasi kekuatan komputasi, penalaran logis, dan eksekusi. AI memberikan “**HOW**”—bertindak, eksekusi, dan komputasi.

Interplay dinamis dari ketiga kecerdasan ini membentuk **Triune Intelligence (TI)**, sebuah sistem hibrida yang menghasilkan intelijen holistik dan *emergent*, jauh melampaui penjumlahan bagian-bagiannya.

Paradigma ini termanifestasi dalam **Enam Karakteristik Artefak Cerdas TISE**, yang memastikan setiap rancang bangun: 1. **Strong (Kuat)**, melalui Core Engine. 2. **Smart (Cerdas)**, melalui Triune-PUDAL Cognitive Engine. 3. **Extended Range (Jangkauan Luas)**, melalui PSKVE Value Engine. 4. **Realistic (Realistis)**, melalui PICOC Systematic. 5. **Doable (Dapat Dilaksanakan)**, melalui Triune-ASTF Four-Layered Architecture. 6. **Methodic (Metodis)**, melalui W-Model (pengembangan dari V-Method).

Metodologi TISE, yang diuraikan dalam buku ini, memberikan sebuah peta jalan yang terstruktur untuk penelitian dan pengembangan: * **Arsitektur ASTF (Application, System, Technology, Fundamental Research)** berfungsi sebagai kerangka dekomposisi kompleksitas, memungkinkan inovasi di setiap lapisan, dari kebutuhan pemangku kepentingan hingga prinsip-prinsip ilmiah fundamental. * **Triune-PUDAL Cognitive Engine** (Perceive, Understand, Decision-making & Planning, Act-Response, Learning-evaluating) adalah inti kognitif yang memungkinkan artefak belajar dan beradaptasi, dengan setiap fasenya ditingkatkan oleh kolaborasi NI, CI, dan AI. * **PSKVE Value Engine** (Product, Service, Knowledge, Value, Environmental) memastikan penciptaan nilai holistik, menyeimbangkan berbagai dimensi untuk keberlanjutan dan dampak yang lebih luas. * **PICOC Systematic (Population, Intervention, Control, Outcome, Context)** diterapkan secara berlapis di setiap lapisan ASTF, menyediakan metodologi validasi berbasis bukti yang ketat dan memastikan keterandalan serta validitas klaim penelitian. * **W-Model** mengintegrasikan proses desain, sintesis, dan validasi secara berkelanjutan, memastikan keterlacakan dan kelayakan pengembangan artefak cerdas yang kompleks.

15.3 14.3 Peran Alat Bantu dan Implementasi Praktis

Pemanfaatan alat bantu modern sangat esensial dalam mewujudkan TISE. **Python** berfungsi sebagai bahasa pemrograman utama untuk implementasi AI, simulasi, dan integrasi, mendukung berbagai fase PUDAL dan evaluasi PICOC. **Ontologi** dan **Prolog** memungkinkan formalisasi

pengetahuan manusia (NI) dan konteks budaya (CI) ke dalam bentuk yang dapat diproses AI, memfasilitasi penalaran logis dan semantik umum antar sistem. **Quarto** dan **Mermaid** (meskipun tidak secara eksplisit disebutkan dalam semua sumber, tetapi relevan untuk konteks ini) memungkinkan dokumentasi yang komprehensif dan visualisasi yang jelas dari arsitektur sistem dan alur kerja, yang krusial untuk komunikasi ilmiah dan reproduktifitas penelitian.

Studi kasus, seperti Sistem Komuter Cerdas Jakarta-Bandung dan Sistem Rekomendasi Makanan Sehat (MSRS), telah mendemonstrasikan bagaimana kerangka TISE dan alat bantu ini dapat diterapkan untuk mengatasi masalah sosio-teknis yang kompleks, mulai dari dekomposisi masalah hingga optimasi konversi nilai PSKVE.

15.4 14.4 Implikasi Etika dan Tanggung Jawab: Menciptakan Vokator

Dimensi etika dan tanggung jawab adalah inti dari TISE, bukan sekadar pelengkap. Paradigma ini secara proaktif mengatasi masalah penyelarasan nilai AI (*AI value alignment*) dengan menanamkan nilai-nilai kemanusiaan dan budaya sejak awal proses rekayasa. Dengan **Homocordium** sebagai kompas moral dan **Kecerdasan Kultural (CI)** yang membentuk konteks etis, TISE memastikan sistem tidak hanya cerdas tetapi juga adil, transparan, dan akuntabel.

Melalui filosofi “Engineers empower humans”, TISE membentuk para insinyur dan peneliti menjadi “**Vokator**”—individu yang memahami esensi disrupsi, menyuarakan kebenaran melalui riset yang bertanggung jawab, dan membangun kehidupan istimewa di tengah Abad ke-21 yang penuh gejolak. Vokator adalah “manusia hati” (*homocordium*), yang tidak hanya menguasai teknologi tetapi juga memegang teguh nilai-nilai kemanusiaan di era di mana kekuatan otot dan keterampilan berpikir mungkin digantikan oleh teknologi.

15.5 14.5 Menuju Masa Depan Rekayasa yang Lebih Cerdas dan Bertanggung Jawab

Meskipun TISE telah menetapkan landasan yang kuat, perjalanan untuk sepenuhnya mewujudkan potensinya masih terus berlanjut. Bab 12 menguraikan tantangan seperti pengukuran metrik CI yang “lunak”, pengembangan taksonomi komprehensif untuk *System of Autonomous Systems* (SoAS) yang mempertimbangkan otonomi manajerial dan operasional, perlunya kerangka kerja formal untuk penutupan sistem informasional, serta peningkatan interoperabilitas alat dan standardisasi bahasa pemodelan. Tantangan-tantangan ini, bukan sebagai penghalang, melainkan sebagai undangan untuk penelitian dan inovasi berkelanjutan.

CISE menawarkan visi rekayasa simbiotik—sebuah masa depan di mana Kecerdasan Alami, Budaya, dan Buatan berinteraksi secara harmonis, tidak untuk mendominasi, tetapi untuk memberdayakan dan memperkaya pengalaman manusia. Ini adalah ajakan untuk menciptakan

sistem yang tidak hanya canggih secara teknis tetapi juga berharga secara holistik, berlandaskan etika, dan diterapkan secara bertanggung jawab, guna membentuk “panggung” kehidupan yang luar biasa bagi seluruh umat manusia.

16 Lampiran A: Studi Kasus Rinci

Tentu, berikut adalah Lampiran A untuk buku Anda, yang berisi studi kasus rinci tentang penerapan paradigma TISE:

Lampiran ini menyediakan dua studi kasus yang dianalisis secara mendalam menggunakan kerangka TISE untuk memberikan contoh nyata penerapan paradigma ini. Studi kasus ini mengilustrasikan bagaimana Triune Intelligence, PUDAL, PSKVE, dan ASTF bekerja sama untuk mengatasi masalah sosio-teknis yang kompleks.

16.1 A.1: Dekomposisi ASTF untuk Sistem Komuter Cerdas Jakarta-Bandung

Studi kasus ini mendemonstrasikan bagaimana masalah rekayasa yang sangat besar dan kompleks dapat dipecah menjadi bagian-bagian yang dapat dikelola menggunakan kerangka Arsitektur Empat Lapisan TISE (Application, System, Technology, Fundamental Research - ASTF). Contoh ini juga telah digunakan dalam Bab 4 untuk mengilustrasikan kerangka ASTF.

- **Lapisan Aplikasi (A): Solusi Berbagi Kamar-Makanan-Perjalanan**
 - **Masalah:** Pada tahun 2030, jutaan komuter akan melakukan perjalanan harian antara Jakarta dan Bandung. Perjalanan ini melelahkan dan memakan waktu, menciptakan kebutuhan mendesak akan solusi untuk istirahat, makan, dan perjalanan yang efisien.
 - **Solusi yang Diusulkan:** Sebuah model bisnis “**berbagi kamar-makanan-perjalanan**” (*room-food-travel sharing*) yang terintegrasi untuk menyediakan akomodasi sementara (kapsul tidur), makanan yang nyaman (siap saji), dan perjalanan yang efisien dalam satu platform.
 - **Peran Triune Intelligence:**
 - * **Kecerdasan Kultural (CI):** Memahami kebutuhan dan preferensi komuter terkait kenyamanan, privasi, dan kebersihan yang selaras dengan norma sosial dan budaya.

- * **Kecerdasan Alami (NI):** Terlibat dalam desain *user experience* (UX) untuk memastikan antarmuka yang intuitif dan memenuhi harapan manusia.
- * **Kecerdasan Buatan (AI):** Mendukung personalisasi rekomendasi kamar, makanan, dan rute berdasarkan riwayat dan preferensi pengguna.
- **Lapisan Sistem (S): Sistem Kapsul Tidur Komuter dan Makanan Siap Saji**
 - **Arsitektur Sistem:** Sebuah sistem terintegrasi yang terdiri dari: (1) Kapsul tidur (*Sleep-in-Capsules*) yang kompak dan nyaman di *hub* transportasi. (2) Layanan makanan siap saji (*Food-to-Go*) yang dapat dipesan sebelumnya. (3) Integrasi yang mulus dengan jaringan transportasi (kereta cepat, bus cerdas).
 - **Fungsi:** Mengubah *input* (permintaan komuter, energi, bahan makanan) menjadi *output* (istirahat, nutrisi, perjalanan efisien).
 - **Peran Triune Intelligence:**
 - * **CI:** Menentukan standar kebersihan, keamanan, dan *branding* layanan, serta tata kelola data yang sensitif.
 - * **NI:** Mengawasi operasi sistem, menangani pengecualian atau situasi darurat yang tidak dapat ditangani AI.
 - * **AI:** Mengelola alokasi kapsul secara dinamis, mengoptimalkan rute transportasi, dan memproses pesanan makanan *real-time*.
- **Lapisan Teknologi (T): Mesin Listrik, Dapur Otomatis, dan Keuangan Digital**
 - **Mesin Kunci:** (1) **Mesin Listrik:** Untuk menggerakkan kendaraan transportasi secara efisien dan berkelanjutan. (2) **Dapur Otomatis:** Untuk produksi makanan massal yang cepat, konsisten, dan higienis. (3) **Uang Digital:** Untuk transaksi yang lancar dan tanpa gesekan di seluruh ekosistem. (4) **Platform Pembiayaan Digital:** Untuk mengelola arus kas, investasi, dan memastikan keberlanjutan ekonomi jangka panjang dari seluruh sistem.
 - **Peran Triune Intelligence:**
 - * **CI:** Menentukan persyaratan keamanan siber untuk uang digital, standar kebersihan dapur, dan keberlanjutan energi yang selaras dengan kebijakan publik.
 - * **NI:** Terlibat dalam desain dan *tuning* mesin listrik, kalibrasi dapur otomatis, serta pengembangan algoritma keamanan untuk transaksi digital.
 - * **AI:** Mengoptimalkan kinerja mesin listrik (misalnya, efisiensi energi), mengontrol proses dapur otomatis, dan memproses transaksi uang digital secara aman dan efisien.
- **Lapisan Riset Fundamental (F): Prinsip Optimasi dan Konversi Nilai**
 - **Prinsip yang Diteliti:** (1) **Tingkat Jam Kerja Manusia Minimum:** Prinsip ekonomi industri untuk meminimalkan *input* tenaga kerja manusia tanpa mengorbankan kualitas. (2) **Optimasi Jadwal Waktu:** Prinsip dari riset operasi untuk memaksimalkan *throughput* dan meminimalkan waktu tunggu. (3) **Alokasi Sumber Daya:** Prinsip dari teori sistem untuk mendistribusikan sumber daya terbatas

(kapsul, bahan makanan, energi) secara optimal. (4) **Konversi Nilai PSKVE**: Teori fundamental dari TISE tentang bagaimana berbagai bentuk “energi” (Produk, Layanan, Pengetahuan, Nilai, Lingkungan) dapat ditransaksikan untuk menciptakan nilai holistik.

– **Peran Triune Intelligence:**

- * **CI**: Memandu arah penelitian untuk menemukan prinsip yang mendukung keberlanjutan dan keadilan sosial dalam alokasi sumber daya.
- * **NI**: Memformulasikan hipotesis, merancang eksperimen teoretis, dan menginterpretasikan hasil untuk mengembangkan pengetahuan baru.
- * **AI**: Mendukung simulasi kompleks untuk menguji model optimasi, menganalisis data besar untuk menemukan pola baru dalam konversi nilai, atau memprediksi perilaku sistem yang kompleks (misalnya, lalu lintas).

16.2 A.2: Analisis Sistem Rekomendasi Makanan Sehat dengan Kerangka TISE

Studi kasus ini adalah contoh sempurna dari penerapan TISE pada masalah sosio-teknis yang sangat kompleks, menunjukkan bagaimana **Triune Intelligence**, **PUDAL**, dan **PSKVE** bekerja sama.

- **Masalah (Konteks PSKVE)**: Memenuhi kebutuhan pangan lokal yang sehat menghadapi tantangan multi-dimensi:
 - **Produk & Layanan**: Sulit menghasilkan makanan yang sesuai dengan profil kesehatan spesifik (misalnya, diabetes, hipertensi) dan selera lokal.
 - **Nilai**: Makanan sehat seringkali tidak terjangkau karena rantai pasok yang tidak efisien.
 - **Lingkungan**: Praktik pertanian dan peternakan seringkali tidak berkelanjutan.
 - **Pengetahuan**: Kurangnya data tentang kebutuhan konsumen dan inovasi produk lokal yang sehat.
- **Solusi (Berbasis Triune Intelligence)**: Sebuah *marketplace* makanan sehat yang berfungsi sebagai ekosistem yang menghubungkan berbagai pemangku kepentingan. Triune Intelligence diwujudkan melalui kolaborasi antara:
 - **Kecerdasan Manusia (NI)**: Konsumen (dengan kebutuhan dan preferensinya), Chef/Ahli Kuliner (dengan kreativitas dan kearifan lokalnya), UMKM Pangan (dengan kapasitas produksinya), dan Otoritas Gizi & Agama (dengan standar dan pedomannya).
 - **Kecerdasan Buatan (AI)**: Sistem Rekomendasi Multi-Stakeholder (MSRS) yang akan kita bedah.
 - **Kecerdasan Alam (Natural Intelligence)**: Fokus pada penggunaan pasokan bahan baku lokal yang berkelanjutan (*local supplies*).

- **Mekanisme (Mesin PUDAL & PSKVE dalam Aksi):** Operator *marketplace* menggunakan MSRS (sebagai komponen AI) untuk membuat keputusan strategis dalam siklus PUDAL:
 - **Perceive:** MSRS mengumpulkan data dari semua pemangku kepentingan: pencarian tak terjawab dari konsumen, resep inovatif dari *chef*, data kapasitas dari UMKM, dan panduan dari otoritas gizi/agama.
 - **Understand:** AI dalam MSRS menganalisis data ini untuk mengidentifikasi “celah pasar”—misalnya, permintaan tinggi untuk “camilan sore rendah gula” yang belum terpenuhi. Kecerdasan Kultural (CI) membantu dalam memahami signifikansi dari celah pasar ini dalam konteks norma dan preferensi diet lokal.
 - **Decision-making:** MSRS kemudian mencocokkan celah ini dengan resep yang ada (misalnya, resep “Bola Ubi Ungu Gluten-Free” dari seorang *chef*) dan kapasitas produksi (misalnya, “UMKM Sehat Selalu” memiliki pengalaman dengan produk bebas gluten). Sistem kemudian memberikan rekomendasi kepada operator. Kecerdasan Manusia (NI) operator membuat keputusan akhir, dengan informasi dari AI dan panduan dari CI.
 - **Act:** Operator, berdasarkan rekomendasi, memfasilitasi kolaborasi antara *chef* dan UMKM untuk memproduksi item baru tersebut dan memasukkannya ke dalam menu.
 - **Learning:** Kinerja penjualan dan ulasan dari item baru ini menjadi masukan baru bagi MSRS, menciptakan siklus perbaikan berkelanjutan. AI mengukur metrik teknis, CI mengevaluasi terhadap tujuan nilai dan norma budaya, dan NI merefleksikan keberhasilan keputusannya.

Sistem ini secara aktif mengelola konversi PSKVE: **Inovasi (Knowledge)** dari *chef* diubah menjadi **Product** baru, yang memberikan **Service** kesehatan kepada konsumen, yang menghasilkan **Value** ekonomi bagi UMKM dan operator, semuanya dengan tujuan menggunakan bahan baku yang berkelanjutan (**Environmental**).

17 Lampiran B: Templat dan Daftar Periksa

Tentu, berikut adalah Lampiran B untuk buku Anda, yang berisi alat bantu praktis untuk mahasiswa:

Lampiran ini berisi alat bantu praktis yang dapat langsung digunakan oleh mahasiswa untuk membantu merancang penelitian, menyusun proposal, dan menyiapkan publikasi ilmiah dalam kerangka paradigma Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE).

17.1 B.1: Templat Kosong Kerangka PICOC Berlapis

Templat ini dapat digunakan untuk merancang kerangka validasi penelitian Anda di setiap lapisan ASTF, sebagaimana dijelaskan dalam Bab 7 (Metodologi Validasi PICOC Sistematis) dan Tabel 6.1 dalam buku. Ini akan membantu Anda merumuskan pertanyaan penelitian dan merencanakan studi empiris secara sistematis.

Tabel B.1: Templat PICOC Berlapis untuk Riset Disertasi

Komponen PICOC	Lapisan A: Aplikasi (Application Layer)	Lapisan S: Sistem (System Layer)	Lapisan T: Teknologi (Technology Layer)	Lapisan F: Riset Fundamental (Fundamental Research Layer)
P (Populasi/Masalah/Proses)	Pemangku kepentingan atau masalah spesifik.	Kumpulan data uji, <i>testbed</i> , lingkungan simulasi, atau dataset.	Sumber energi, nilai masukan, data mentah, atau material.	Fenomena, entitas fundamental, atau nilai sumber yang diselidiki.
I (Intervensi/Peningkatan/Investigasi)	Solusi baru yang diusulkan.	Sistem yang diusulkan yang menggabungkan teknologi kunci.	Mesin/modul teknologi dengan instrumen atau metode baru.	Proses, teori, model, atau pendekatan eksperimental baru.

Komponen PICOC	Lapisan A: Aplikasi (Application Layer)	Lapisan S: Sistem (System Layer)	Lapisan T: Teknologi (Technology Layer)	Lapisan F: Riset Fundamental (Fundamental Research Layer)
C (Kontrol/Perbandingan)	Solusi lama atau praktik saat ini yang digunakan oleh pemangku kepentingan.	Sistem yang ada atau sistem dasar (<i>baseline</i>).	Mesin/modul teknologi lama atau instrumen/metode yang ada.	Proses, teori, model, atau pendekatan eksperimental lama/yang sudah ada.
O (Outcome/Luaran)	Peningkatan kinerja yang dirasakan (misalnya, efisiensi, pengurangan biaya, kepuasan).	Peningkatan kinerja tingkat sistem (misalnya, akurasi, kecepatan, keandalan).	Peningkatan kinerja dalam melakukan konversi atau tugas spesifik (misalnya, efisiensi, presisi).	Pengetahuan baru, pemahaman yang lebih dalam, prinsip yang tervalidasi, atau efek baru.
Cx (Konteks)	Masalah spesifik yang harus dipecahkan dan persyaratan solusi yang berhasil.	Kebutuhan akan sistem yang lebih baik yang memenuhi persyaratan solusi.	Tantangan untuk menemukan atau meningkatkan instrumen/metode.	Pencarian pengetahuan baru, pemahaman mekanisme fundamental, atau eksplorasi wilayah ilmiah.

17.2 B.2: Daftar Periksa Proposal Riset TISE

Daftar periksa ini dirancang untuk membantu Anda menyusun proposal riset yang komprehensif dan selaras dengan paradigma TISE, mencakup aspek-aspek kunci yang dibahas dalam Bab 9.

Bagian 1: Definisi Masalah (Lapisan A) * [] Masalah telah didefinisikan dengan jelas dari perspektif pemangku kepentingan. * [] Pemangku kepentingan utama (langsung dan tidak langsung) telah diidentifikasi. * [] Solusi yang ada (Kontrol) telah dianalisis dan kelemahannya telah diidentifikasi. * [] Metrik keberhasilan dari sudut pandang pengguna (Outcome) telah ditetapkan.

Bagian 2: Usulan Intervensi (Semua Lapisan) * [] Kontribusi orisinal di setiap lapisan ASTF yang relevan telah dinyatakan dengan jelas. * [] Peta ASTF untuk intervensi yang diusulkan telah dibuat. * [] Hipotesis atau pertanyaan penelitian untuk setiap lapisan telah dirumuskan menggunakan format PICOC.

Bagian 3: Metodologi * [] Kerangka W-Model untuk proses penelitian telah diuraikan. * [] Desain eksperimen/studi untuk setiap validasi PICOC telah dirinci (termasuk populasi, prosedur, dan metrik). * [] Alat, perangkat lunak, dan sumber daya yang dibutuhkan telah diidentifikasi.

17.3 B.3: Daftar Periksa Pra-pengiriman Paper IEEE

Daftar periksa ini akan membantu Anda memastikan paper Anda memenuhi standar publikasi ilmiah, terutama untuk jurnal atau konferensi IEEE, dengan fokus pada struktur, konten, kualitas, dan koherensi, sesuai dengan pedoman yang diuraikan dalam Bab 9 dan sumber eksternal.

Struktur dan Konten * [] Judul ringkas, informatif, dan mencerminkan kontribusi utama. * [] Abstrak mengikuti struktur 6 poin (Konteks, Masalah, Intervensi, Metodologi, Hasil, Dampak). * [] Pendahuluan dengan jelas menyatakan masalah, solusi lama, solusi baru, dan kontribusi. * [] Tinjauan pustaka secara kritis mengidentifikasi kesenjangan penelitian. * [] Bagian metode cukup rinci untuk direplikasi. * [] Hasil disajikan dengan jelas menggunakan gambar dan tabel. * [] Pembahasan menghubungkan hasil teknis dengan implikasi praktis. * [] Kesimpulan merangkum temuan dan menyarankan langkah selanjutnya.

Kualitas dan Koherensi * [] “Benang merah” paper jelas dan konsisten. * [] Argumen didukung oleh data dari validasi PICOC. * [] Hubungan antar lapisan ASTF (jika relevan) dijelaskan. * [] Semua referensi diformat sesuai standar IEEE dan dikutip dengan benar. * [] Paper telah diperiksa tata bahasa, ejaan, dan kejelasannya.

18 Lampiran C: Detail Metrik dan Model Kinerja TISE

Tentu, berikut adalah Lampiran C untuk buku Anda, yang berisi detail metrik dan model kinerja Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE):

Lampiran ini menyediakan detail teknis dan model kinerja yang mendalam untuk konsep-konsep inti TISE yang dibahas di bagian utama buku. Ini termasuk pengukuran kapasitas Triune Intelligence (TI), model kinerja Product-Service-Knowledge-Value-Environmental System (PSKVE), dan konsep terkait lainnya yang memperkuat kerangka TISE.

18.1 C.1: Metrik Kapasitas Triune (Triune Capacity Index - TCI)

Sebagaimana dibahas di Bab 5 (Siklus Kognitif PUDAL Engine), pengukuran efektivitas dan kapasitas Triune-PUDAL Engine membutuhkan metrik yang melampaui kinerja teknis AI semata, mencakup dimensi Natural Intelligence (NI) dan Cultural Intelligence (CI). **Triune Capacity Index (TCI)** adalah metrik komposit yang menggabungkan berbagai indikator untuk memberikan gambaran holistik tentang kapasitas sistem TISE.

TCI dihitung sebagai rata-rata tertimbang dari beberapa klaster metrik. Jika Anda membutuhkan satu KPI utama, TCI dapat dihitung menggunakan formula berikut: $TCI = w_A \cdot \bar{A} + w_B \cdot \bar{B} + w_C \cdot \bar{C} + w_D \cdot \bar{D} + w_E \cdot \bar{E}$, di mana $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}, \bar{E}$ adalah skor rata-rata untuk klaster metrik yang berbeda, dan w_A, w_B, w_C, w_D, w_E adalah bobot yang sesuai.

Beberapa klaster metrik yang relevan untuk TCI meliputi:

1. **Natural-Intelligence Fitness:** Mengukur kesehatan dan kewaspadaan “lengkung refleksi Id + limbik” manusia.
 - **Bio-Responsiveness RT (Waktu Reaksi Bio):** Waktu reaksi median dari stimulus fisik hingga aktuasi aman.
 - **Cognitive-Load Index (Indeks Beban Kognitif):** Usaha mental operator saat mengawasi AI.

- **Trust Calibration Error (Kesalahan Kalibrasi Kepercayaan):** Kesenjangan antara kepercayaan manusia dan akurasi sebenarnya dari AI.
2. **Collective Intelligence (Kecerdasan Kolektif):** Mengukur kemampuan sistem untuk berkolaborasi dan belajar secara sinergis.
- **Decision Alignment Index (Indeks Penyelarasan Keputusan):** Porsi keputusan akhir yang mengutip masukan dari ketiga pilar kecerdasan (NI, CI, AI).
 - **Resolution-Latency (Latensi Resolusi):** Waktu rata-rata untuk menyelesaikan konflik NI-AI-CI yang ditandai oleh lapisan tata kelola.
3. **Societal & Ethical Impact (Dampak Sosial & Etika):** Mengukur nilai “Rekayasa untuk Kemanusiaan” tertinggi.
- **Safety Incident Rate (Tingkat Insiden Keamanan):** Kejadian kritis per 10 ribu jam operasi.
 - **Inclusivity Spread (Penyebaran Inklusivitas):** Ukuran distribusi nilai di berbagai kelompok pemangku kepentingan. Ini dapat menggunakan ukuran seperti Gini-like measure.
 - **Sustainable-Benefit ROI (ROI Manfaat Berkelanjutan):** Eksternalitas positif bersih jangka panjang (energi yang dihemat, kehidupan yang ditingkatkan) per unit biaya. Ini dapat dievaluasi melalui analisis siklus hidup (*lifecycle analysis*) dan pemetaan SDG (*SDG mappings*).

Metrik-metrik ini, dikelompokkan dalam Indeks Kapasitas Triune (TCI), memungkinkan kita untuk melampaui pertanyaan “Apakah modelnya berfungsi?” menjadi “Apakah seluruh sistem Triune aman, cerdas, adil, dan terus belajar?”—bukti nyata bahwa TI memberikan janjinya untuk kemanusiaan.

18.2 C.2: Model Kinerja dan Prototipe Virtual PSKV-S

Konsep Product-Service-Knowledge-Value (PSKV-S) adalah abstraksi kunci dalam TISE untuk menciptakan nilai holistik, sebagaimana dibahas dalam Bab 6. PSKV-S dirancang untuk beroperasi sebagai sebuah “mesin” yang mendorong kekuatan dan pertukaran nilai.

18.3 C.2.1: Model Konversi Nilai dalam PSKV-S

Prinsip penciptaan nilai sebuah PSKV dapat diilustrasikan melalui kurva penawaran-permintaan (lihat Gambar C.1). Pada awalnya, ongkos untuk membuat sebuah PSKV mungkin lebih tinggi daripada nilai gunanya. Namun, melalui proses rekayasa, nilai guna dapat dinaikkan dan ongkos diturunkan, menciptakan apa yang disebut “berlian PSKV” di mana nilai guna melebihi ongkos. Nilai yang tercipta ini kemudian dibagi dua oleh harga; bagian atas diambil oleh pembeli, dan bagian bawah diambil oleh penjual.

19 Lampiran D: Peta Jalan Riset Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)

Tentu, berdasarkan sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita, ada materi yang sangat relevan untuk Lampiran D. Lampiran ini akan berfokus pada **Peta Jalan Riset (Research Road Map) TISE** yang diringkas dalam dokumen sumber, memberikan gambaran strategis tentang pengembangan ilmu rekayasa cerdas.

Lampiran ini menyajikan Peta Jalan Riset (Research Road Map) untuk pengembangan Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE), sebagaimana diringkas dalam Tabel 3 dari sumber. Peta jalan ini berfungsi sebagai panduan strategis untuk memperluas tubuh pengetahuan ilmu rekayasa ke dalam Platform Rekayasa Cerdas (PRC), dengan fokus pada permasalahan pengembangan lingkungan hidup yang sehat, kreatif, aman, dan berkelanjutan.

Peta jalan ini mengidentifikasi lima lapisan riset dan pengembangan utama: **Sains, Teknologi, Produk, Pengguna, dan Pasar**. Di setiap lapisan ini, terdapat tema-tema pengembangan yang meliputi **Perangkat Keras (Hardware)**, **Perangkat Lunak (Software)**, **Perangkat Cair (Liquidware)**, **Perangkat Gas (Vapourware)**, **Ruang Cerdas (Smart Space)**, dan **Ruang Spiritual (Spiritual Space)**.

Peta jalan riset ini secara eksplisit menguraikan evolusi riset, mulai dari pemrosesan fundamental hingga rekayasa ruang hidup spiritual.

19.1 D.1: Ringkasan Peta Jalan Riset TISE

Berikut adalah ringkasan Peta Jalan Riset TISE (Versi 0.2) yang menggambarkan bagaimana berbagai tema rekayasa berkembang melintasi lapisan riset dan pengembangan selama periode tahun 2021 hingga 2026.

Tabel D.1: Ringkasan Peta Jalan Riset TISE (Versi 0.2)

	Perangkat Keras	Perangkat Lunak	Perangkat Cair	Perangkat Gas	Ruang Cerdas	Ruang Spiritual
MARSA	Masyarakat Sadar Covid	<i>Home Care Market</i>	Pasar Rumah Sehat	Pasar <i>Home Learning Productivity</i>	Pasar Ekonomi Rumah	Pasar Kreatif Spiritual
USER	Pasien Covid	Pasien Umum	Masyarakat Umum	Masyarakat Profesional	Masyarakat Ekonomi	Masyarakat Spiritual
PRO-	<i>Coughing</i>	<i>Home Based</i>	<i>Smart Healthy</i>	<i>Productive Learning</i>	<i>Home Based Virtual</i>	<i>Home Based Virtual</i>
DUK	<i>Pre Screening</i>	<i>Recovery Room</i>	<i>Home, Robots</i>	<i>Home</i>	<i>Economy</i>	<i>World</i>
TEKNOLOGI	<i>Non Fractal Dimension; DSP System, Platform Modelica</i>	Platform Modelica untuk <i>Taken ED; Grassberger Algorithm</i>	Platform Modelica untuk <i>SPS Smart Engineering</i>	Platform Modelica untuk <i>PSKV Smart Engineering</i>	Platform Modelica untuk <i>Living Space Smart Engineering</i>	Platform Modelica untuk <i>Spiritual Space Smart Engineering</i>
SAINS	<i>Fraktal Processing</i>	<i>Multifraktal Processing</i>	<i>SPS Robotic Engineering</i>	<i>PSKV Engineering</i>	<i>Smart Living Engineering</i>	<i>Smart Spiritual Engineering</i>
TAHUN	2021	2022	2023	2024	2025	2026

19.2 D.2: Penjelasan Lapisan dan Tema dalam Peta Jalan Riset

19.3 D.2.1: Lapisan Riset dan Pengembangan

1. **Sains (Science)**: Ini adalah lapisan terdalam, yang berfokus pada penemuan pengetahuan fundamental dan teori-teori baru. Dalam konteks TISE, ini mencakup eksplorasi prinsip-prinsip yang mendasari berbagai jenis kecerdasan dan sistem. Contohnya adalah *Fraktal Processing* dan *Multifraktal Processing*.
2. **Teknologi (Technology)**: Lapisan ini berfokus pada pengembangan atau adaptasi teknologi kunci yang memungkinkan solusi inovatif. Ini adalah jembatan antara sains fundamental dan aplikasi praktis. Contohnya penggunaan Platform Modelica untuk berbagai domain rekayasa cerdas.
3. **Produk (Product)**: Lapisan ini berurusan dengan artefak berwujud atau tidak berwujud yang dihasilkan. Ini adalah hasil langsung dari upaya rekayasa dan apa yang ditawarkan kepada pengguna. Contohnya, *Smart Healthy Home, Robots*.
4. **Pengguna (User)**: Lapisan ini berpusat pada siapa yang akan menggunakan atau berinteraksi dengan produk dan layanan yang dikembangkan. Pemahaman mendalam tentang

kebutuhan, perilaku, dan konteks pengguna adalah krusial dalam TISE. Contohnya, *Pasien Covid* dan *Masyarakat Spiritual*.

5. **Pasar (Market):** Lapisan terluar ini mengidentifikasi segmen pasar yang akan dilayani oleh produk dan layanan yang dikembangkan. Ini melibatkan pemahaman tentang permintaan, kompetisi, dan keberlanjutan ekonomi. Contohnya adalah *Masyarakat Sadar Covid* dan *Pasar Kreatif Spiritual*.

19.4 D.2.2: Tema Pengembangan

Peta jalan ini mengintegrasikan berbagai tema rekayasa yang mencerminkan sifat multidisiplin dari TISE:

- **Perangkat Keras (Hardware):** Berkaitan dengan komponen fisik dan infrastruktur. Ini mencakup energi, materi, dan informasi.
- **Perangkat Lunak (Software):** Berkaitan dengan kode, bahasa pemrograman, dan algoritma.
- **Perangkat Cair (Liquidware):** Merujuk pada konsep yang lebih abstrak seperti algoritma dan pengetahuan.
- **Perangkat Gas (Vapourware):** Mengacu pada nilai, makna, dan relasi, yang lebih *intangible*.
- **Ruang Cerdas (Smart Space):** Berkaitan dengan lingkungan fisik dan virtual yang adaptif dan responsif terhadap kebutuhan manusia. Ini termasuk lingkungan hidup yang cerdas, kreatif, aman, sehat, dan berkelanjutan.
- **Ruang Spiritual (Spiritual Space):** Mengacu pada dimensi kesadaran, realitas, dan imersi untuk lingkungan spiritual, seperti kegiatan peribadatan digital.

19.5 D.3: Implikasi Peta Jalan Riset TISE

Peta jalan ini memiliki beberapa implikasi penting untuk riset dan pengembangan dalam kerangka TISE:

- **Panduan Holistik:** Ini menggarisbawahi pendekatan TISE yang holistik, di mana penelitian di satu lapisan (misalnya, *Fraktal Processing* di lapisan Sains) dapat mendukung pengembangan teknologi di lapisan atasnya (*Correlation Fractal Dimension* di lapisan Teknologi), yang kemudian berujung pada produk dan layanan yang relevan untuk pasar tertentu (misalnya, *Coughing Pre Screening* untuk *Masyarakat Sadar Covid*).
- **Integrasi Triune Intelligence:** Setiap tema dan lapisan dalam peta jalan ini dapat dianalisis melalui lensa Triune Intelligence. Misalnya, pengembangan *Smart Spiritual Engineering* (Sains) untuk *Home Based Virtual World* (Produk) bagi *Masyarakat Spiritual*

(Pengguna) akan sangat mengandalkan Kecerdasan Kultural untuk mendefinisikan nilai-nilai spiritual, Kecerdasan Alami untuk memahami pengalaman manusia, dan Kecerdasan Buatan untuk menciptakan lingkungan virtual yang imersif.

- **Fokus pada Kehidupan Abad ke-21:** Peta jalan ini secara langsung menjawab permasalahan kemanusiaan Abad XXI, yaitu bagaimana manusia menjalani kehidupan yang istimewa melalui kontribusi maksimal berdasarkan pertumbuhan potensi sepenuhnya dalam ruang hidup yang cerdas, kreatif, aman, sehat, dan berkelanjutan. Ini mencakup kebutuhan transformasi energi, material, informasi, otomasi, kecerdasan berbasis pengetahuan, dan ruang imersif.
- **Inovasi dan Disrupsi:** Peta jalan ini mendorong inovasi yang mampu menghadapi berbagai disrupsi di lima dimensi kehidupan (Fisik, Biologis, Psikologis, Sosial, Spiritual), memungkinkan pencarian “kebenaran tentang esensi disrupsi dan strategi adaptasi”.

Dengan menyediakan peta jalan yang terstruktur ini, TISE tidak hanya membimbing penelitian ke arah inovasi teknis, tetapi juga memastikan bahwa inovasi tersebut selaras dengan kebutuhan manusia yang mendalam dan berkontribusi pada penciptaan masa depan yang lebih baik dan lebih bermakna.

20 Lampiran D: Peta Jalan Riset Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE)

Tentu, berdasarkan sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita, ada materi yang sangat relevan untuk Lampiran D. Lampiran ini akan berfokus pada **Peta Jalan Riset (Research Road Map) TISE** yang diringkas dalam dokumen sumber, memberikan gambaran strategis tentang pengembangan ilmu rekayasa cerdas.

Lampiran ini menyajikan Peta Jalan Riset (Research Road Map) untuk pengembangan Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE), sebagaimana diringkas dalam Tabel 3 dari sumber. Peta jalan ini berfungsi sebagai panduan strategis untuk memperluas tubuh pengetahuan ilmu rekayasa ke dalam Platform Rekayasa Cerdas (PRC), dengan fokus pada permasalahan pengembangan lingkungan hidup yang sehat, kreatif, aman, dan berkelanjutan.

Peta jalan ini mengidentifikasi lima lapisan riset dan pengembangan utama: **Sains, Teknologi, Produk, Pengguna, dan Pasar**. Di setiap lapisan ini, terdapat tema-tema pengembangan yang meliputi **Perangkat Keras (Hardware)**, **Perangkat Lunak (Software)**, **Perangkat Cair (Liquidware)**, **Perangkat Gas (Vapourware)**, **Ruang Cerdas (Smart Space)**, dan **Ruang Spiritual (Spiritual Space)**.

Peta jalan riset ini secara eksplisit menguraikan evolusi riset, mulai dari pemrosesan fundamental hingga rekayasa ruang hidup spiritual.

20.1 D.1: Ringkasan Peta Jalan Riset TISE

Berikut adalah ringkasan Peta Jalan Riset TISE (Versi 0.2) yang menggambarkan bagaimana berbagai tema rekayasa berkembang melintasi lapisan riset dan pengembangan selama periode tahun 2021 hingga 2026.

Tabel D.1: Ringkasan Peta Jalan Riset TISE (Versi 0.2)

	Perangkat Keras	Perangkat Lunak	Perangkat Cair	Perangkat Gas	Ruang Cerdas	Ruang Spiritual
MARSA	Masyarakat	<i>Home Care</i>	Pasar	Pasar <i>Home</i>	Pasar	Pasar Kreatif
KET	Sadar	<i>Market</i>	Rumah	<i>Learning</i>	Ekonomi	Spiritual
	Covid		Sehat	<i>Productivity</i>	Rumah	
USER	Pasien	Pasien	Masyarakat	Masyarakat	Masyarakat	Masyarakat
	Covid	Umum	Umum	Profesional	Ekonomi	Spiritual
PRO-	<i>Coughing</i>	<i>Home</i>	<i>Smart</i>	<i>Productive</i>	<i>Home Based</i>	<i>Home Based</i>
DUK	<i>Pre</i>	<i>Based</i>	<i>Healthy</i>	<i>Learning</i>	<i>Virtual</i>	<i>Virtual</i>
	<i>Screening</i>	<i>Recovery</i>	<i>Home,</i>	<i>Home</i>	<i>Economy</i>	<i>World</i>
		<i>Room</i>	<i>Robots</i>			
TEKNOLOGI	Platform	Platform	Platform	Platform	Platform	Platform
	<i>Fractal</i>	Modelica	Modelica	Modelica	Modelica	Modelica
	<i>Dimension;</i>	untuk	untuk <i>SPS</i>	untuk	untuk <i>Living</i>	untuk
	<i>DSP</i>	<i>Taken ED;</i>	<i>Smart</i>	<i>PSKV</i>	<i>Space Smart</i>	<i>Spiritual</i>
	<i>System,</i>	<i>Grassberger</i>	<i>Engineering</i>	<i>Smart</i>	<i>Engineering</i>	<i>Space Smart</i>
	Platform	<i>Algorithm</i>		<i>Engineering</i>		<i>Engineering</i>
	Modelica					
SAINS	<i>Fraktal</i>	<i>Multifraktal</i>	<i>SPS Robotic</i>	<i>PSKV</i>	<i>Smart Living</i>	<i>Smart</i>
	<i>Processing</i>	<i>Processing</i>	<i>Engineering</i>	<i>Engineering</i>	<i>Engineering</i>	<i>Spiritual</i>
						<i>Engineering</i>
TAHUN	2021	2022	2023	2024	2025	2026

20.2 D.2: Penjelasan Lapisan dan Tema dalam Peta Jalan Riset

20.3 D.2.1: Lapisan Riset dan Pengembangan

1. **Sains (Science):** Ini adalah lapisan terdalam, yang berfokus pada penemuan pengetahuan fundamental dan teori-teori baru. Dalam konteks TISE, ini mencakup eksplorasi prinsip-prinsip yang mendasari berbagai jenis kecerdasan dan sistem. Contohnya adalah *Fraktal Processing* dan *Multifraktal Processing*.
2. **Teknologi (Technology):** Lapisan ini berfokus pada pengembangan atau adaptasi teknologi kunci yang memungkinkan solusi inovatif. Ini adalah jembatan antara sains fundamental dan aplikasi praktis. Contohnya penggunaan Platform Modelica untuk berbagai domain rekayasa cerdas.
3. **Produk (Product):** Lapisan ini berurusan dengan artefak berwujud atau tidak berwujud yang dihasilkan. Ini adalah hasil langsung dari upaya rekayasa dan apa yang ditawarkan kepada pengguna. Contohnya, *Smart Healthy Home*, *Robots*.
4. **Pengguna (User):** Lapisan ini berpusat pada siapa yang akan menggunakan atau berinteraksi dengan produk dan layanan yang dikembangkan. Pemahaman mendalam tentang

kebutuhan, perilaku, dan konteks pengguna adalah krusial dalam TISE. Contohnya, *Pasien Covid* dan *Masyarakat Spiritual*.

5. **Pasar (Market):** Lapisan terluar ini mengidentifikasi segmen pasar yang akan dilayani oleh produk dan layanan yang dikembangkan. Ini melibatkan pemahaman tentang permintaan, kompetisi, dan keberlanjutan ekonomi. Contohnya adalah *Masyarakat Sadar Covid* dan *Pasar Kreatif Spiritual*.

20.4 D.2.2: Tema Pengembangan

Peta jalan ini mengintegrasikan berbagai tema rekayasa yang mencerminkan sifat multidisiplin dari TISE:

- **Perangkat Keras (Hardware):** Berkaitan dengan komponen fisik dan infrastruktur. Ini mencakup energi, materi, dan informasi.
- **Perangkat Lunak (Software):** Berkaitan dengan kode, bahasa pemrograman, dan algoritma.
- **Perangkat Cair (Liquidware):** Merujuk pada konsep yang lebih abstrak seperti algoritma dan pengetahuan.
- **Perangkat Gas (Vapourware):** Mengacu pada nilai, makna, dan relasi, yang lebih *intangible*.
- **Ruang Cerdas (Smart Space):** Berkaitan dengan lingkungan fisik dan virtual yang adaptif dan responsif terhadap kebutuhan manusia. Ini termasuk lingkungan hidup yang cerdas, kreatif, aman, sehat, dan berkelanjutan.
- **Ruang Spiritual (Spiritual Space):** Mengacu pada dimensi kesadaran, realitas, dan imersi untuk lingkungan spiritual, seperti kegiatan peribadatan digital.

20.5 D.3: Implikasi Peta Jalan Riset TISE

Peta jalan ini memiliki beberapa implikasi penting untuk riset dan pengembangan dalam kerangka TISE:

- **Panduan Holistik:** Ini menggarisbawahi pendekatan TISE yang holistik, di mana penelitian di satu lapisan (misalnya, *Fraktal Processing* di lapisan Sains) dapat mendukung pengembangan teknologi di lapisan atasnya (*Correlation Fractal Dimension* di lapisan Teknologi), yang kemudian berujung pada produk dan layanan yang relevan untuk pasar tertentu (misalnya, *Coughing Pre Screening* untuk *Masyarakat Sadar Covid*).
- **Integrasi Triune Intelligence:** Setiap tema dan lapisan dalam peta jalan ini dapat dianalisis melalui lensa Triune Intelligence. Misalnya, pengembangan *Smart Spiritual Engineering* (Sains) untuk *Home Based Virtual World* (Produk) bagi *Masyarakat Spiritual*

(Pengguna) akan sangat mengandalkan Kecerdasan Kultural untuk mendefinisikan nilai-nilai spiritual, Kecerdasan Alami untuk memahami pengalaman manusia, dan Kecerdasan Buatan untuk menciptakan lingkungan virtual yang imersif.

- **Fokus pada Kehidupan Abad ke-21:** Peta jalan ini secara langsung menjawab permasalahan kemanusiaan Abad XXI, yaitu bagaimana manusia menjalani kehidupan yang istimewa melalui kontribusi maksimal berdasarkan pertumbuhan potensi sepenuhnya dalam ruang hidup yang cerdas, kreatif, aman, sehat, dan berkelanjutan. Ini mencakup kebutuhan transformasi energi, material, informasi, otomasi, kecerdasan berbasis pengetahuan, dan ruang imersif.
- **Inovasi dan Disrupsi:** Peta jalan ini mendorong inovasi yang mampu menghadapi berbagai disrupsi di lima dimensi kehidupan (Fisik, Biologis, Psikologis, Sosial, Spiritual), memungkinkan pencarian “kebenaran tentang esensi disrupsi dan strategi adaptasi”.

Dengan menyediakan peta jalan yang terstruktur ini, TISE tidak hanya membimbing penelitian ke arah inovasi teknis, tetapi juga memastikan bahwa inovasi tersebut selaras dengan kebutuhan manusia yang mendalam dan berkontribusi pada penciptaan masa depan yang lebih baik dan lebih bermakna.

21 Lampiran F: Konsep Fondasi Lanjutan dan Model Teknis

Tentu, berdasarkan sumber yang diberikan dan riwayat percakapan kita, ada materi yang sangat relevan untuk Lampiran F. Lampiran ini akan berfokus pada konsep-konsep fondasi lanjutan dan model teknis yang mendasari paradigma TISE, memberikan detail yang melengkapi pembahasan di bab-bab utama.

Lampiran ini menyediakan detail teknis dan elaborasi konseptual yang lebih mendalam untuk aspek-aspek kunci dari Triune-Intelligence Smart-Engineering (TISE). Pembahasan di sini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih kaya tentang definisi rekayasa, model berpikir yang mendasarinya, dimensi realitas yang relevan, abstraksi mesin, serta aspek formal dari sistem otonom dan pemodelan pengetahuan.

21.1 F.1: Definisi Rekayasa dan Fungsi-fungsinya dalam TISE

Dalam kerangka TISE, **rekayasa (keinsinyuran, atau *engineering*)** didefinisikan sebagai:

1. **Aplikasi kreatif** dari pengetahuan ilmiah.
2. Untuk menghasilkan **Rancang-Bangun (RB)**.
3. Yang mampu mengarahkan **kekuatan alam secara aman dan terkendali**.
4. Untuk **memecahkan masalah manusia yang penting dan berharga**.

RB ini adalah “mesin yang kuat untuk memecahkan masalah manusia yang berat dan sukar”. Kekuatan RB berasal dari kemampuannya untuk mengarahkan kekuatan alam. Ilmu rekayasa membekali rekayasawan (insinyur, *engineers*) untuk menjalankan keempat proses tersebut. Seorang rekayasawan adalah *problem-solver* profesional dengan kompetensi yang lengkap: berilmu, kreatif, *power sensitive*, *safety oriented*, penting, dan bernilai tinggi.

Rekayasa tradisional seringkali berfokus pada optimasi parameter teknis (misalnya, efisiensi, kecepatan, biaya). Namun, TISE memperluasnya ke penciptaan nilai holistik dan peningkatan kesejahteraan manusia secara berkelanjutan, bergeser dari *problem-solving* murni menjadi *capability-building* dan “tindakan penciptaan dunia yang lebih baik”.

21.2 F.1.1: Tiga Fase Rekayasa Monodisiplin

Secara tradisional, seorang rekayasawan (monodisiplin) bekerja dalam tiga fase: a. **Analisis Kebutuhan Manusia:** Menganalisis kebutuhan manusia dan merumuskan fungsi (transformasi materi, energi, informasi) serta spesifikasi (kinerja) RB yang dapat mengatasinya. b. **Pencarian Prinsip Ilmu Pengetahuan:** Mencari prinsip-prinsip ilmu pengetahuan serta instrumen yang terkait dengan transformasi materi, energi, informasi yang berguna untuk menyusun RB. c. **Inovasi dan Aplikasi RB:** Menginovasi RB dengan merangkai prinsip-prinsip ilmu pengetahuan secara kreatif sehingga RB mampu memenuhi fungsi dan spesifikasi tersebut, serta menerapkannya sebagai solusi.

21.3 F.1.2: Tujuh Fungsi Rekayasa dalam TISE

Tuntutan terhadap rekayasawan telah berkembang untuk menghasilkan RB yang kompleks, sehingga fungsi rekayasa jarang bisa dilakukan oleh seorang insinyur saja; diperlukan pembagian tugas. Fungsi rekayasa dapat diurai dan dibagi ke dalam tujuh fungsi: a. **Riset:** Menemukan Pengetahuan Baru. b. **Pengembangan:** Menginventori Instrumen, Mesin, dan Struktur. c. **Desain:** Menginovasi Solusi. d. **Konstruksi:** Mewujudkan Solusi. e. **Produksi:** Mereplikasi Solusi Secara Massal. f. **Operasi:** Mempekerjakan Solusi. g. **Manajemen:** Menghasilkan Nilai Pemangku Kepentingan.

21.4 F.2: Siklus Proses Berpikir Rekayasa

Proses berpikir rekayasa itu sendiri terdiri dari empat tahap besar: 1. **Logika:** Memahami masalah dan kebutuhan akan kekuatan RB, yang melibatkan studi dan survei kepada pengguna. 2. **Rasional:** Memahami realitas alam di lingkungan, kekuatan apa yang ada, dan instrumen/komponen yang tersedia. Ini dilakukan melalui studi literatur, pembuatan hipotesis, dan eksperimen laboratorium. 3. **Kreatif:** Mendesain logika kerja (Logos) RB yang bisa memenuhi kebutuhan dan membuat modelnya, melalui studi skema *engines*, rekombinasi, pemodelan, simulasi, dan uji *testbed*. 4. **Konstruktif:** Mewujudkan model itu ke dalam RB yang realistis, yang melibatkan studi situs, rekonfigurasi, *blueprint/site-plan*, instalasi, uji kelaikan, *soft launching*, operasional, pemeliharaan, dan akhir siklus hidup.

21.5 F.3: Realitas, Dimensi, dan Tingkat Kesadaran dalam TISE

TISE mengakui bahwa desain lingkungan cerdas membutuhkan deskripsi realitas yang relevan. Realitas digambarkan sebagai interaksi antara entitas dan gaya (*forces*).

21.6 F.3.1: Empat Pandangan Realitas (Four Views of Reality)

Teori yang mendasari TISE mengkonstruksi empat pandangan realitas yang sesuai dengan tingkat kesadaran: 1. **Realitas Fisik (Physical Reality)**: Diatur oleh hukum termodinamika dan empat gaya primer (gravitasi, elektromagnetik, gaya nuklir kuat, dan gaya nuklir lemah). Semua entitas fisik dipengaruhi oleh gaya-gaya ini. 2. **Realitas Biologis (Biological Reality)**: Diatur oleh gaya evolusi Darwinian, algoritma genetik, fungsi *fitness*, dan hukum *survival of the fittest*. Entitas biologis berusaha mempertahankan integritasnya dan melestarikan spesiesnya. 3. **Realitas Kultural (Cultural Reality)**: Tiga gaya (sosial, legal, dan ekonomi) berinteraksi dengan hukum hierarki sosial, keagungan, dukungan; keamanan hukum, perlindungan, dan penghormatan; serta kepemilikan dan akses aset ekonomi, sumber daya, dan keuangan. Semua entitas budaya didorong oleh gaya-gaya ini, yang pada dasarnya bersifat informasional. 4. **Realitas Hiper (Hyper Reality)**: Medan gaya mencakup perasaan kejutan kreatif, kegembiraan, pencapaian, harmoni, keindahan, dan cinta. Pada manusia, ini memengaruhi perasaan dan emosi.

Desain sebuah RB biasanya melibatkan tiga pandangan realitas: domain desain (tempat hasil desain dan entitas utama berada), pandangan yang lebih rendah (sebagai sumber komponen dan gaya), dan pandangan yang lebih tinggi (tempat hasil desain dievaluasi berdasarkan nilainya).

21.7 F.3.2: Dimensi Realitas dan Tingkat Kesadaran

Manusia memiliki tingkat kesadaran yang berbeda terhadap dimensi-dimensi realitas, yang dapat diilustrasikan sebagai berikut:

- **Naturalisme**: Kesadaran terhadap medan fisik, energi, dan teknologi. Tumbuhan dan hewan menyadarinya.
- **Spiritisme**: Pasokan kebutuhan hidup, makanan, air bersih, dan kesehatan. Hewan menyadarinya.
- **Simbolisme**: Efektivitas berbahasa dan penguasaan diri. Manusia biasa menyadarinya.
- **Panteisme**: Kekuatan karakter dalam membangun organisasi dan komunitas. Manusia *homo sapiens* (terampil) menguasai tiga dimensi pertama dan menyadari panteisme. *Homologos* (cerdas) menguasai empat dimensi ini. Komputer juga mampu menguasai empat dimensi ini.
- **Teisme**: Kreativitas, penciptaan nilai, spiritualitas. *Pra-Homocordium* menyadari teisme, sedangkan *Homocordium* menguasainya.

Disrupsi teknologi memaksa manusia untuk meningkatkan kesadaran dirinya melampaui komputer. Pilihan yang lebih realistis bagi kebanyakan manusia adalah meningkatkan kesadaran sampai ke dimensi kelima (teisme dan panenteisme).

21.8 F.3.3: Evolusi Manusia dalam Konteks TISE

Dalam konteks ini, TISE mengidentifikasi evolusi manusia: * **Homosapiens**: Manusia yang terampil secara fisik, dengan kemampuan *perception, recall, plan, act* yang instinktif, reaktif, responsif, dan apresiatif. * **Homologos**: Manusia yang cerdas secara logika, mampu berpikir dan mengingat dengan lebih kompleks, memanfaatkan pengetahuan. * **Homodeus**: Manusia yang diberdayakan oleh komputasi, mencapai kemampuan super. * **Homocordium**: Manusia hati, yang berpusat pada nilai, etika, moralitas, empati, kreativitas, intuisi, dan tujuan spiritual. Ini adalah esensi dari “Vokator”.

Adanya kecerdasan buatan meniscayakan manusia beradaptasi dari manusia otot & otak menjadi manusia hati (*homocordium*).

21.9 F.4: Abstraksi Mesin (Engine Abstraction) dan Siklus Empat Langkahnya

Sebagaimana dibahas di Bab 3 dan 2.1, setiap artefak rekayasa adalah sebuah “mesin”. Mesin diabstraksikan sebagai entitas yang memanfaatkan dan mengubah gaya yang tersedia di lingkungan untuk melakukan kerja yang diinginkan. Kunci dari sebuah mesin adalah operasi siklusnya, yang memungkinkannya untuk melakukan kerja secara terus-menerus.

Siklus ini dapat dianalogikan dengan **roda gila** (*flywheel*) yang berputar, menyimpan, dan melepaskan energi kerja. Siklus empat langkah yang khas dalam abstraksi ini meliputi: 1. **Pengumpulan Energi (Energy Collection/Intake)**: Mesin mengumpulkan energi atau *input* dari sumber eksternal. 2. **Kompresi Energi (Energy Compression/Encoding)**: Energi yang terkumpul diproses dan diubah menjadi bentuk yang lebih kuat atau dapat digunakan, disebut “energi MESIN” (*ENGINE energy*). 3. **Dekompresi Energi menjadi Energi Roda Gila (Energy Decompression into Flywheel Energy)**: Energi yang tersimpan kemudian dikonversi menjadi “energi RODA GILA” (*FLYWHEEL energy*), yang merepresentasikan energi kerja yang siap untuk dimanfaatkan. 4. **Pembersihan/Reset Mesin (Engine Cleaning/Reset)**: Sebagian dari energi yang dihasilkan digunakan untuk mengatur ulang mesin, membersihkan “limbah” atau sisa proses, dan menyiapkannya untuk siklus berikutnya.

Setiap siklus yang selesai menghasilkan porsi energi kerja yang tetap. Untuk beban kerja yang lebih besar, mesin harus beroperasi pada frekuensi yang lebih tinggi.

21.10 F.5: Formalisasi Penutupan Sistem Informasional

Dalam MBSE, terdapat kebutuhan akan kerangka kerja formal untuk penutupan sistem. Penelitian telah dilakukan untuk formalisasi teoretis sistem tertutup, khususnya dalam hal

penutupan informasional.

- Sebuah teorema menunjukkan hubungan untuk tingkat informasi bersama (*mutual information*) yang disajikan di batas sistem tertutup secara informasional.
- Untuk menjaga penutupan pada keadaan $n + 1$, keluaran sistem tertutup ke lingkungan pada keadaan n (jumlah informasi yang ditransmisikan dari sistem ke lingkungannya) harus mengikuti teorema ini.

Ini relevan dalam TISE untuk memastikan stabilitas dan prediktabilitas sistem cerdas yang berinteraksi dengan lingkungannya.

21.11 F.6: Taksonomi Sistem Otonom (SoAS) dan Level Otonomi (LoA)

Integrasi otonomi ke dalam sistem yang lebih besar (*System of Systems* - SoS) menciptakan kompleksitas baru. Diperlukan pengembangan taksonomi yang komprehensif untuk *System of Autonomous Systems* (SoAS).

- **Taksonomi LoA:** Taksonomi berdasarkan *Level of Autonomy* (LoA) memberikan gambaran yang lebih jelas tentang berbagai tingkat kemampuan otonom sistem, menghasilkan bahasa umum untuk berbagai disiplin ilmu rekayasa.
- **Peringkat SoAS:** Sebuah SoAS dapat diberi peringkat lebih tinggi dalam LoA jika sistemnya mampu melakukan lebih banyak tugas misi secara mandiri.
- **Peran AI dalam Kooperasi SoAS:** SoAS menggunakan algoritma kerja sama AI, membuat sistem berkolaborasi dalam melakukan tugas misi. Contohnya adalah dalam perencanaan multi-UAV (*multi-UAV planning*).
- **Framework ALFUS:** *Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS)* adalah kerangka kerja yang dikembangkan oleh NIST untuk menentukan tingkat otonomi sistem tak berawak.

Pemahaman tentang taksonomi dan LoA ini sangat penting untuk merancang sistem TISE yang menyeimbangkan kemampuan otonom dengan pengawasan dan intervensi manusia, sesuai dengan filosofi “Engineers empower humans.”

21.12 F.7: Kerangka Pemodelan yang Dapat Disusun (*Composable Modeling Frameworks*)

Konsep kerangka pemodelan yang dapat disusun (*composable modeling frameworks*) sangat penting untuk mengelola sistem yang kompleks dan mempromosikan penggunaan ulang.

- **MBSE dan Komposabilitas:** Komposabilitas sintaksis mengacu pada kemampuan untuk menggabungkan model atau komponen dari sumber yang berbeda. MBSE berupaya meningkatkan efisiensi implementasi MBSE melalui penggunaan pola (*patterns*) dan kerangka kerja pemodelan yang dapat disusun.
- **Simulasi Efektivitas Tempur:** Penelitian telah berfokus pada kerangka pemodelan yang dapat disusun untuk sistem yang kompleks, seperti sistem pertahanan udara dan rudal berjaringan, yang disebut *Composable Modeling Frameworks for Networked Air & Missile Defense Systems*. TISE juga membahas penggunaan model untuk simulasi dinamika penawaran-permintaan dan berbagai sumber.
- **Metode Ontologis untuk Pemodelan:** Metode pemodelan ontologis (*ontological meta-modeling method*), seperti ekstensi UML dengan tag, dapat digunakan untuk membangun *ontoCMFs* untuk representasi taktik. Ini membantu dalam menciptakan konseptualisasi bersama (*conceptual alignment*) yang penting untuk interoperabilitas simulasi.
- **Pola Desain (*Design Patterns*):** Dalam MBSE, pola desain digunakan untuk reusabilitas pengetahuan. Misalnya, Gasser menjelaskan pola konstruksi perilaku (*behavioral construct patterns*) untuk memfasilitasi pemodelan perilaku sistem, sehingga insinyur dapat berfokus pada perilaku yang diharapkan daripada estetika diagram.

Integrasi kerangka pemodelan yang dapat disusun ini memungkinkan TISE untuk merancang sistem yang lebih modular, fleksibel, dan efisien, selaras dengan karakteristik “Dapat Dilaksanakan” (Doable) dan “Metodis” (Methodic).

22 Summary

In summary, this book has no content whatsoever.

References

Knuth, Donald E. 1984. “Literate Programming.” *Comput. J.* 27 (2): 97–111. <https://doi.org/10.1093/comjnl/27.2.97>.