

BAB 3: SIKLUS KONTROL KOGNITIF PUDAL DALAM SISTEM CERDAS

Setelah pengetahuan diukur kedalamannya menggunakan Taksonomi Bloom (Bab 2), langkah selanjutnya dalam rekayasa sistem cerdas adalah memetakan pengetahuan menjadi **tindakan yang dapat dieksekusi**. Bab ini memperkenalkan siklus kontrol kognitif inti yang berulang, yang menjadi jantung dari setiap entitas cerdas: **Siklus PUDAL**.

3.1 Pengenalan Siklus PUDAL (Persepsi, Pemahaman, Keputusan, Tindakan, Pembelajaran)

Siklus PUDAL adalah *loop* kontrol kognitif yang berkelanjutan yang ditemukan pada inti setiap entitas cerdas, yang secara terus-menerus mengubah informasi menjadi tindakan dan pembelajaran. Siklus ini mendefinisikan alur proses sistem cerdas, dan merupakan fondasi untuk arsitektur sistem cerdas yang adaptif.

Siklus PUDAL (Persepsi, Pemahaman, Keputusan, Tindakan, Pembelajaran) terdiri dari lima fase utama yang berurutan:

1. **[P] Persepsi (*Perception*)**: Tahap awal di mana sistem merasakan stimulus dan mengumpulkan data mentah. Dalam konteks AI, ini adalah “pengenalan” data.
2. **[U] Pemahaman (*Understanding*)**: Sistem menerjemahkan sinyal mentah yang dirasakan menjadi makna atau konteks. Tahap ini bertujuan untuk menginterpretasikan data menjadi informasi yang dapat ditindaklanjuti.
3. **[D] Keputusan/Desain (*Decision/Design*)**: Fase yang melibatkan analisis dan perumusan strategi atau rencana tindakan. Ini adalah tahap yang paling menuntut secara kognitif, di mana sistem merancang rencana baru.
4. **[A] Tindakan (*Acting*)**: Pelaksanaan rencana yang dirancang pada fase [D] dengan menerapkan prosedur.
5. **[L] Pembelajaran/Evaluasi (*Learning/Evaluating*)**: Sistem membandingkan hasil nyata dari tindakan [A] dengan niat atau prediksi dari keputusan [D], dan menilai kualitas hasilnya untuk memperbarui modelnya.

Usulan Gambar 3.1: Diagram Alir Siklus Kontrol Kognitif PUDAL

Placeholder Gambar	Caption	Sumber
Gambar 3.1	Diagram siklus melingkar yang menampilkan lima fase PUDAL ([P]ersepsi, [U]Pemahaman, [D]Keputusan, [A]Tindakan, [L]Pembelajaran) dengan panah yang menunjukkan aliran proses dan umpan balik dari [L] kembali ke [P] atau [D].	

3.2 Hubungan PUDAL dan Taksonomi Bloom: Proses vs. Kedalaman

Hubungan antara PUDAL dan Taksonomi Bloom adalah bahwa **PUDAL merepresentasikan Alur Proses** (sumbu horizontal atau waktu), sementara **Taksonomi Bloom merepresentasikan Kedalaman Pemrosesan** (sumbu vertikal atau kompleksitas).

Sistem yang benar-benar cerdas tidak hanya menjalankan siklus PUDAL, tetapi juga mencapai tingkat kognitif tertinggi di dalamnya. Pemetaan langsung antara fase PUDAL dan tingkat Bloom adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1: Pemetaan Kedalaman Kognitif Bloom dalam Siklus PUDAL

Fase PUDAL	Tujuan Fase	Tingkat Bloom Terkait	Keterangan Logika	Sumber
[P] Persepsi	Merasakan data mentah (Sensing)	Mengingat (<i>Remembering</i>)	Persepsi adalah pengambilan atau pengenalan bahwa stimulus tertentu ada.	
[U] Pemahaman	Menerjemahkan sinyal menjadi makna	Memahami (<i>Understanding</i>)	Mencocokkan 1:1, sistem menerjemahkan sinyal mentah menjadi konteks.	
[A] Tindakan	Mengeksekusi prosedur atau rencana	Mengaplikasikan (<i>Applying</i>)	Menggunakan prosedur dalam situasi tertentu, yaitu menjalankan rencana yang dirancang.	
[D] Keputusan/Desain	Merumuskan strategi baru	Menganalisis & Mencipta (<i>Analyzing & Creating</i>)	Fase paling menantang kognitif, membutuhkan pemecahan situasi (Menganalisis) dan perumusan rencana baru (Mencipta/Desain).	
[L] Pembelajaran	Mengevaluasi hasil vs. niat	Mengevaluasi (<i>Evaluating</i>)	Sistem menilai kualitas hasil	

Fase PUDAL	Tujuan Fase	Tingkat Bloom Terkait	Keterangan Logika	Sumber
			untuk memperbarui model, menilai perbedaan antara yang diharapkan dan yang aktual.	

3.3 PUDAL Kognitif vs. PUDAL Refleksif

Kecerdasan suatu sistem ditentukan oleh kedalaman kognitif yang dicapai selama siklus PUDAL.

- **PUDAL Refleksif (Otomasi Tingkat Rendah):** Jika sistem sederhana, siklus PUDAL tetap berada di bagian bawah Taksonomi Bloom, melibatkan **Keterampilan Berpikir Tingkat Rendah (LOTS)**. Contohnya adalah sistem otomasi sederhana yang hanya mendeteksi panas (Mengingat), menginterpretasikannya sebagai “Terlalu Panas” (Memahami), dan memilih aturan yang sudah ditetapkan seperti “Nyalakan Kipas” (Aplikasi/Pemilihan dasar).
- **PUDAL Kognitif (Sistem Cerdas Adaptif):** Jika sistem tersebut adalah AI atau pakar manusia, siklus PUDAL akan mencapai puncak Taksonomi Bloom, melibatkan **Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi (HOTS)**. Contohnya termasuk mensintesis strategi baru untuk mengeksplorasi tren (Mencipta/Desain) dan mengkritik validitas strategi tersebut untuk memperbarui model mental (Mengevaluasi).

3.4 Sistem Cerdas Sejati: Ditandai oleh Fase Keputusan [D] dan Pembelajaran [L] yang Kuat

Dalam kerangka ini, kecerdasan sejati suatu sistem ditentukan oleh seberapa kuat dan matang fase **Keputusan/Desain [D]** dan **Pembelajaran/Evaluasi [L]** yang dimilikinya.

Fase [D] dan [L] secara kolektif sesuai dengan **HOTS** (Menganalisis, Mengevaluasi, Mencipta), sedangkan fase [P], [U], dan [A] sesuai dengan **LOTS**. Hubungan ini divisualisasikan paling baik sebagai spiral yang menanjak: sistem mengumpulkan data di tingkat rendah (P, U), melompat ke tingkat tinggi untuk membuat strategi (D), turun untuk bertindak (A), dan melompat kembali ke tingkat tinggi untuk menilai hasilnya (L).

Usulan Gambar 3.2: Spiral PUDAL dan Taksonomi Bloom

Placeholder Gambar	Caption	Sumber
Gambar 3.2	Diagram Spiral yang menunjukkan Siklus PUDAL melingkari tiang vertikal Taksonomi Bloom. Fase [P], [U], dan [A] berada di	

Placeholder Gambar	Caption	Sumber
	bagian bawah (LOTS), sementara fase [D] (Desain/Mencipta) dan [L] (Evaluasi) memuncak pada tingkat teratas (HOTS), menunjukkan bahwa kecerdasan adalah spiral yang menanjak.	

BAB 4: PEMETAAN PENGETAHUAN YANG DAPAT DIEKSEKUSI: LOGIKA ABCD

Bab ini menandai lompatan kritis dalam rekayasa sistem cerdas: dari memetakan pemikiran statis menjadi memetakan tindakan yang dapat dieksekusi. Untuk mencapai lompatan ini, pengetahuan harus diubah dari konsep naratif menjadi sintaksis yang formal dan terukur, di mana unit atomik pengetahuan diwakili oleh **Aturan Produksi ABCD**.

4.1 Unit Atomik Pengetahuan: Aturan Produksi ABCD

Dalam rekayasa sistem cerdas, node dalam peta pengetahuan bukan lagi sekadar kata, melainkan blok data terstruktur, atau algoritma yang dapat dieksekusi. Unit atomik pengetahuan ini diformalkan menjadi pernyataan ABCD: **Diberikan [C]onditions, [A]ktor [B]ehaves to a certain [D]egree.**

Pernyataan ABCD ini mendefinisikan Aturan Produksi (Production Rule) yang digunakan sistem untuk berinteraksi dengan dunia fisik. Setiap huruf merepresentasikan kuadran fungsional dari unit logika tersebut:

Tabel 4.1: Anatomi Unit Atomik Pengetahuan (Aturan Produksi ABCD)

Komponen	Nama Inggris	Definisi Fungsi	Contoh Parameter Input/Output	Sumber
[C]	<i>Condition</i>	Keadaan input, pemicu, atau kendala lingkungan yang memicu aturan.	Tingkat Energi, Kondisi Cuaca, Hambatan Terdeksi.	
[A]	<i>Actor</i>	Sumber daya atau subsistem yang men-	Lengan Hidrolik, Unit Motor, Pengemudi Pengiriman.	

Komponen	Nama Inggris	Definisi Fungsi	Contoh Parameter Input/Output	Sumber
[B]	<i>Behavior</i>	jalankan tugas atau perilaku. Fungsi transformasi, perilaku, atau proses yang dilakukan oleh Aktor.	Mengangkat, Mendorong, Berbelok, Menggunakan Generator.	
[D]	<i>Degree</i>	Parameter output yang terukur, mendefinisikan target performa atau intensitas.	Target Kecepatan, Akurasi, Efisiensi, Selalu/Seringkali.	

Usulan Gambar 4.1: Visualisasi Kartu Atomik ABCD

Placeholder Gambar	Caption	Sumber
Gambar 4.1	Representasi visual berbentuk kartu (Card) yang dibagi menjadi empat kuadran yang diberi label [C] Kondisi, [A] Aktor, [B] Perilaku, dan [D] Derajat, menunjukkan Unit Atomik Pengetahuan yang terstruktur.	

4.2 Peta Pengetahuan sebagai Pustaka Pernyataan ABCD

Dalam kerangka kerja rekayasa sistem cerdas ini, pengetahuan didefinisikan secara kuantitatif sebagai **ukuran dan akurasi pustaka pernyataan ABCD** yang dimiliki sistem. Perbedaan utama antara sistem otomatis sederhana (tidak cerdas) dan sistem cerdas adaptif terletak pada sifat pustaka ABCD ini.

1. Sistem Tetap (Tidak Cerdas) Sistem ini hanya memiliki satu pernyataan ABCD yang mendasar, seperti: “Diberikan [Kondisi Apapun], [Aktor] [Bergerak] ke [Kecepatan Maksimal]”. Sistem ini akan gagal ketika kondisi lingkungan berubah karena kurangnya keragaman aturan produksi untuk menghadapi variabel [C]ondition.

2. Sistem Adaptif (Cerdas) Sistem cerdas memiliki **perpustakaan pernyataan ABCD** yang luas. Sistem ini secara dinamis mendeteksi [C]ondition di lingkungan, lalu memilih atau mengubah [B]ehavior atau [D]egree yang relevan dari pustakanya. Kemampuan sistem untuk

beradaptasi dengan lingkungan dan kondisi yang berubah inilah yang mendefinisikan kecerdasannya.

4.3 Alur Pemetaan ABCD dalam Siklus PUDAL

Peta pengetahuan berubah menjadi proses dinamis ketika logika ABCD diintegrasikan ke dalam Siklus PUDAL (Persepsi, Pemahaman, Keputusan, Tindakan, Pembelajaran). Siklus ini mendefinisikan bagaimana sistem cerdas menggunakan, menyusun, dan memperbarui unit-unit pengetahuan ABCD.

Tabel 4.2: Pemetaan Proses ABCD ke Fase Siklus PUDAL

Fase PUDAL	Aksi	Peta Pengetahuan	Fungsi Logika ABCD	Sumber
[P] Persepsi	Instansiasi [A]	[C] dan	Sistem memindai realitas (menggunakan sensor) untuk mengisi variabel [C]ondition (misalnya, “Jalanan basah”) dan [A]ctor (misalnya, “Motor hidrolik”).	
[U] Pemahaman	Mengambil [D]	[B] dan	Sistem melakukan kueri (<i>lookup</i>) pada Pustaka Pengetahuan ABCD untuk menemukan aturan yang sesuai dengan [C] dan [A] yang terdeteksi.	
[D] Keputusan	Rantai Blok ABCD		Sistem merangkai beberapa kartu ABCD secara logis untuk merumuskan rencana (sequencing). Sistem mungkin mensimulasikan berbagai [D]egree (Derajat) untuk mengoptimalkan hasil, misalnya, mempertimbangkan apakah	

Fase PUDAL	Aksi	Peta	Penge- tahuan	Fungsi Logika ABCD	Sumber
				Derajat “Cepat” akan menyebabkan kegagalan dalam Kondisi “Hujan”.	
[A] Tindakan	Eksekusi ABCD			Aktor menjalankan Perilaku, mengonsumsi Energon untuk mencapai Derajat yang diputuskan. Ini adalah transisi keadaan fisik yang menghasilkan <i>Derajat Aktual</i> (D_{actual}).	
[L] Pembelajaran	Penyempurnaan ABCD			Sistem membandingkan D_{actual} dengan $D_{predicted}$ (target). Jika ada ketidakcocokan, sistem menyesuaikan dan menulis ulang kartu ABCD yang ada dalam pustaka untuk meningkatkan akurasi siklus berikutnya.	

4.4 Contoh Praktis Pemetaan Alur ABCD: Diagram Alur Forklift Otonom

Untuk memvisualisasikan alur kerja ini, pertimbangkan studi kasus tentang *Forklift Otonom* yang memindahkan beban. Logika ABCD menerjemahkan tindakan kompleks menjadi urutan yang dapat diprogram:

1. **Pengecekan Konteks (P & U):** Forklift memindai lingkungan. Deteksi sensor menetapkan [C] (Beban = 500kg, Lantai = Basah) dan [A] (Unit Motor). Pemahaman (U) memvalidasi bahwa aturan ABCD yang relevan tersedia untuk konteks ini.
2. **Pemilihan Strategi (D):** Sistem membandingkan dua opsi: Opsi X (Angkat Cepat / Daya Tinggi) yang berisiko tergelincir, versus Opsi Y (Angkat Lambat / Daya Rendah) yang aman. Sistem membuat keputusan berdasarkan sistem nilainya (misalnya, Keselamatan > Kecepatan) dan memilih Opsi Y.

3. **Eksekusi Tindakan (A):** Aktor [A] (Motor Listrik) menjalankan [B] (mengonversi Energi Listrik menjadi Torsi Mekanis) untuk mencapai [D] (Derajat) 1500 RPM.
4. **Umpan Balik (L):** Sensor mengirimkan umpan balik (“Apakah roda selip?”).
 - **Jika TIDAK:** Aturan ABCD yang digunakan (Opsi Y) diperkuat.
 - **Jika YA:** Sistem menciptakan Aturan ABCD Z baru, yang memperbarui pustaka pengetahuan dengan koreksi (misalnya, “Diberikan Lantai Basah, Derajat harus < 1000 RPM”).

Kemampuan untuk membandingkan hasil nyata dengan prediksi dan memperbarui Aturan ABCD inilah yang membuat sistem tersebut adaptif dan “cerdas”.

Usulan Gambar 4.2: Diagram Alur ABCD untuk Forklift Otonom

Placeholder Gambar	Caption	Sumber
Gambar 4.2	Diagram alir (State-Transition Diagram) yang diperkaya dengan logika ABCD, menampilkan aliran proses spesifik Forklift Otonom melalui fase Pengecekan Konteks (P&U), Pemilihan Strategi (D), Eksekusi Tindakan (A), dan Umpan Balik (L), mencontohkan bagaimana pengetahuan dieksekusi dalam sistem cerdas.	