

Penguatan *Evidence-Based Budgeting* pada SPAN dan SAKTI melalui *Treasury Intelligence Layer* berbasis *Cloud*, *AI*, dan *Permissioned Ledger* Selektif

Ricky Dina Rajendra¹

Politeknik Keuangan Negara STAN, Indonesia

*Correspondence email: 4121220225_ricky@pknstan.ac.id

Abstract

Evidence-based budgeting requires information linking expenditure to program performance, risks, decisions, and public accountability. This study designs a Treasury Intelligence Layer as a decision-support layer complementing SPAN, SAKTI, MyIntress, and SPAN 2.0 without replacing systems. Using Design Science Research, it combines literature review, document analysis, thematic coding, a requirements traceability matrix, and scenario-based walkthroughs. The design is evaluated ex ante, meaning prior to implementation, using the IMF's three Digital Solutions Guidelines for Public Financial Management pillars, the Technology-Organization-Environment framework, and dBrain+ as a functional benchmark. The study identifies three requirements: linking transactions to program performance, generating explainable and traceable risk warnings, and enabling traceable public feedback. These are translated into four layers covering authorized data sources, data integration and governance, analytics and case management, and user access and accountability. The Functional pillar is conceptually fulfilled, while IT Architectural and Governance and Management are partially fulfilled. Implementation requires scenario-based pilots, human oversight, and a stage-gate roadmap.

Keywords: *Evidence-Based Budgeting; Financial Information System; SAKTI; SPAN; Treasury*

Abstrak

Penganggaran berbasis bukti memerlukan informasi yang menghubungkan belanja dengan capaian program, risiko, keputusan, dan akuntabilitas publik. Penelitian ini merancang *Treasury Intelligence Layer* sebagai lapisan pendukung keputusan yang melengkapi SPAN, SAKTI, *MyIntress*, dan pengembangan SPAN 2.0 tanpa menggantikan sistem yang berjalan. Metode yang digunakan adalah *Design Science Research*, studi literatur, analisis dokumen kualitatif, pengodean tematik, matriks keterlacakan kebutuhan, dan penelusuran skenario. Evaluasi *ex ante*, yaitu penilaian desain sebelum implementasi, menggunakan tiga pilar *Digital Solutions Guidelines for Public Financial Management* IMF, kerangka *Technology-Organization-Environment*, serta *dBrain+* sebagai *benchmark* fungsional. Hasil penelitian mengidentifikasi tiga kebutuhan, yaitu keterhubungan transaksi dan capaian program, peringatan risiko yang dapat dijelaskan dan ditelusuri, serta mekanisme umpan balik publik. Rancangan terdiri atas empat lapisan berupa sumber data terotorisasi, integrasi dan tata kelola data, analitik dan manajemen kasus, serta akses dan akuntabilitas pengguna. Secara konseptual, pilar *Functional* terpenuhi, sedangkan *IT Architectural* serta *Governance and Management* terpenuhi sebagian. Selain itu, implementasi memerlukan uji coba skenario, *human oversight*, dan *stage-gate roadmap*.

Kata kunci: *Penganggaran Berbasis Bukti; Treasuri; SAKTI; Sistem Informasi Keuangan; SPAN*

Please cite this article in APA Style as:
Rajendra, R. D. (2026). Penguatan Evidence-Based Budgeting pada SPAN dan SAKTI melalui Treasury Intelligence Layer berbasis Cloud, AI, dan Permissioned Ledger Selektif. *JEKP (Jurnal Ekonomi Dan Keuangan Publik)*, 13(1), 42-63.
<https://doi.org/10.33701/jekp.v13i1.6615>

ADDRESS

Jalan Ir. Soekarno Km. 20 Jatinangor,
Sumedang Regency, West Java
Province, Indonesia 45363
E-mail: jekp.ipdn.ac.id

ARTICLE INFO

Received: August 27th, 2026
Received in revised form:
September 10th, 2026
Accepted: September 15th, 2026

JOURNAL PUBLISHER INFORMATION

JEKP (*Jurnal Ekonomi dan Keuangan Publik*) or in English: Journal of Economy and Public Finance Published by Departement of Public Finance, Faculty of Government Management, Institut Pemerintahan Dalam Negeri.



This is an open access article under the CC-BY-SA license ©Rajendra (2026)

1. PENDAHULUAN

Penganggaran atau *budgeting* merupakan instrumen utama pemerintah untuk mengalokasikan sumber daya publik menjadi layanan, infrastruktur, dan hasil pembangunan. Kualitas anggaran tidak cukup dinilai dari besarnya belanja atau tingkat penyerapannya, tetapi juga dari keluaran program dan manfaat yang diterima masyarakat. Urgensi ini semakin besar karena APBN 2025 menetapkan belanja negara sebesar Rp3.621,3 triliun, yang terdiri atas belanja pemerintah pusat Rp2.701,4 triliun dan Transfer ke Daerah Rp919,9 triliun (Kementerian Keuangan, 2025) (Gambar 1). Besarnya alokasi Transfer ke Daerah juga menunjukkan pentingnya keterlacakan antara penyaluran fiskal pusat dan capaian pembangunan di daerah. Secara konseptual, suatu lapisan analitik penganggaran dan perbendaharaan dapat mendukung keterhubungan data penyaluran transfer dengan indikator *output* dan *outcome* yang bersumber dari sistem kinerja pemerintah daerah melalui interoperabilitas data, tanpa mengambil alih kewenangan maupun sistem pengelolaan keuangan daerah. Pada skala tersebut, pemerintah memerlukan informasi yang menghubungkan anggaran, kegiatan, keluaran, serta capaian program sebagai dasar pengambilan keputusan. Dalam konteks ini, *evidence-based budgeting* diperlukan agar data kinerja, hasil evaluasi, dan informasi risiko digunakan dalam perencanaan, pelaksanaan, serta evaluasi anggaran.



Gambar 1. Target APBN Tahun 2025 (Kementerian Keuangan, 2025)

Penerapan *evidence-based budgeting* memerlukan sistem digital yang mampu menyediakan data keuangan secara terintegrasi, andal, dan tepat waktu. Indonesia telah memiliki Sistem Perbendaharaan dan Anggaran Negara (SPAN) yang mengintegrasikan proses penganggaran, komitmen, pembayaran, penerimaan, pengelolaan kas, serta akuntansi dan pelaporan pada Kementerian Keuangan (DJPb, 2021). SPAN didukung Sistem Aplikasi Keuangan Tingkat Instansi (SAKTI) sebagai feeder system yang mengintegrasikan perencanaan, penganggaran, pelaksanaan, dan pertanggungjawaban keuangan kementerian dan lembaga melalui konsep *single database*, *single entry point*, dan penerapan konsep *integrated financial-management information-system* (DJPb, 2021). Keterhubungan keduanya memperkuat konsolidasi data, mengurangi pengulangan *input*, serta mempercepat penyajian informasi transaksi serta laporan keuangan. Namun, *evidence-based budgeting* juga memerlukan *fiscal intelligence*, yaitu kemampuan mengolah data fiskal menjadi informasi analitik untuk menilai kinerja, mendeteksi risiko, dan mendukung pengambilan keputusan (OECD, 2024; 2025). Dengan demikian, tantangan berikutnya bukan lagi sekadar digitalisasi proses, melainkan perluasan pemanfaatan data SPAN dan SAKTI untuk kebutuhan analisis, akuntabilitas, dan komunikasi kepada publik (Gambar 2).



Gambar 2. SPAN dan SAKTI (DJPb, 2021)

Fiscal intelligence tidak hanya dibutuhkan pengambil keputusan internal, tetapi juga dapat memperkuat akuntabilitas publik. Kebutuhan tersebut terlihat dalam *Open Budget Survey 2025* yang memberi Indonesia skor transparansi sebesar 71 dari 100, sedangkan skor partisipasi publik hanya 33 dari 100 (IBP, 2025). Skor transparansi mengukur ketersediaan dan kelengkapan dokumen anggaran, sementara skor partisipasi menilai kesempatan masyarakat untuk terlibat secara konkret dalam proses penganggaran (IBP, 2025). Survei tersebut juga merekomendasikan penguatan informasi capaian program serta dokumentasi mengenai masukan publik dan penggunaannya dalam keputusan anggaran. Perbedaan skor ini menunjukkan ketersediaan dokumen belum sepenuhnya diikuti informasi kinerja dan mekanisme partisipasi yang membantu masyarakat menilai hubungan antara belanja dan hasil program.

Kesenjangan antara keterbukaan informasi dan partisipasi publik menunjukkan sistem transaksi dan pelaporan perlu dilengkapi kemampuan analitik untuk membaca pola, mendeteksi risiko, dan menjelaskan capaian anggaran. Pengembangannya tidak cukup hanya mengandalkan teknologi, karena transformasi digital pengelolaan keuangan publik perlu menyeimbangkan fungsi sistem, arsitektur teknologi, serta tata kelola dan manajemen. *International Monetary Fund* (IMF) menempatkan integrasi antarsistem, interoperabilitas, dan tata kelola data sebagai bagian penting dalam perancangan sistem keuangan publik digital (Paso et al., 2023). Dalam konteks SPAN dan SAKTI, prinsip ini diterjemahkan melalui kebutuhan menghubungkan data transaksi dengan capaian program, indikator risiko fiskal, dan tindak lanjut pejabat. Hasil analisis tetap memerlukan *human oversight*, sedangkan setiap tindak lanjut perlu direkam dalam jejak audit agar proses pengambilan keputusan dapat ditelusuri. Atas dasar itu, *Treasury Intelligence Layer* dirancang sebagai lapisan analitik tambahan yang memperluas pemanfaatan data SPAN dan SAKTI tanpa menggantikan fungsi utama keduanya.

Kebutuhan *Treasury Intelligence Layer* sejalan dengan perkembangan literatur yang menggeser fokus digitalisasi keuangan publik menuju pemanfaatan data untuk analisis dan pengambilan keputusan. Setiawan (2025) menunjukkan integrasi *big data* dan *data science* berpotensi meningkatkan ketepatan perencanaan anggaran serta mengurangi risiko deviasi. Namun, transformasi tersebut membutuhkan kompetensi aparatur, infrastruktur, kemampuan beradaptasi, dan evaluasi berkelanjutan (Rahmadany, 2024). Pada sisi keterbukaan, Permata & Rafi (2026) menemukan *open government data* masih terkendala interoperabilitas, pembaruan tidak konsisten, dan rendahnya penggunaan publik. Adapun pengalaman Korea Selatan melalui dBrain+ menjadi pembandingan karena mengintegrasikan proses keuangan, analisis statistik, pemantauan, dan penyediaan informasi fiskal kepada publik untuk mendukung keputusan berbasis data (KFIS, 2025). Pemanfaatan *artificial intelligence* pada dBrain+ berpotensi untuk memperkirakan kondisi fiskal dan mengenali risiko, meskipun tetap memerlukan tata kelola dan penelaahan manusia. Pengalaman ini tidak dapat diterapkan secara langsung di Indonesia, tetapi memperkuat dasar bahwa lapisan analitik di atas SPAN dan SAKTI layak dirancang dengan mempertimbangkan kesiapan teknologi, organisasi, tata kelola data, dan kebutuhan pengguna.

Tabel 1: Pemetaan Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian

Penelitian	Konteks dan fokus	Kontribusi relevan	Cakupan yang belum dijawab relatif terhadap penelitian ini
Tumija & Ramadhan (2023)	SIPD Kabupaten Gresik; efektivitas perencanaan anggaran	Menunjukkan peran SIPD dalam integrasi informasi perencanaan serta mengidentifikasi hambatan input, akses, dan verifikasi	Berfokus pada efektivitas perencanaan melalui SIPD daerah; tidak membahas arsitektur analitik SPAN-SAKTI yang menghubungkan transaksi, kinerja, risiko, keputusan, dan akuntabilitas publik
Teken & Romarina (2024)	SIPD Kota Denpasar; kinerja pengelolaan keuangan daerah	Mengidentifikasi persoalan integrasi sistem, gangguan aplikasi, adaptasi pengguna, serta keterbatasan pelatihan	Menjelaskan efektivitas implementasi sistem, bukan rancangan <i>decision-support layer</i> yang menghubungkan analitik risiko dengan verifikasi dan tindak lanjut keputusan

Penelitian	Konteks dan fokus	Kontribusi relevan	Cakupan yang belum dijawab relatif terhadap penelitian ini
Wahyudi et al. (2024)	SIPD Kabupaten Gianyar; kualitas laporan keuangan	Mengkaji optimalisasi SIPD melalui dimensi kualitas sistem, informasi, layanan, penggunaan, kepuasan, dan manfaat	Berorientasi pada kualitas sistem dan pelaporan; belum diarahkan pada keterhubungan transaksi–capaian program, <i>early warning</i> , serta keterlacakan keputusan
Setiawan (2025)	Tata kelola keuangan daerah Kota Bandung; <i>big data</i> dan <i>data science</i>	Menunjukkan potensi analitik dan model prediktif untuk memperkirakan pendapatan dan realisasi belanja	Memperkuat dimensi analitik/prediktif, tetapi tidak merancang integrasi analitik dengan <i>human oversight</i> , jejak keputusan, dan umpan balik publik dalam ekosistem SPAN–SAKTI
Valle-Cruz et al. (2022)	<i>Public budgeting</i> ; AI untuk alokasi belanja menggunakan data lintas negara	Menunjukkan potensi AI sebagai dukungan pengambilan keputusan anggaran	Berfokus pada pendekatan algoritmik untuk alokasi anggaran, bukan tata kelola kelembagaan dan keterlacakan keputusan pada sistem perbendaharaan Indonesia
Permata & Rafi (2026)	<i>Open government data</i> melalui Satu Data Kota Pekanbaru	Mengidentifikasi isu interoperabilitas, konsistensi pembaruan, dan pemanfaatan data publik	Berfokus pada keterbukaan dan pemanfaatan data; belum menghubungkannya dengan transaksi fiskal, analitik risiko, verifikasi, keputusan, dan tindak lanjut
Penelitian ini	SPAN, SAKTI, MyIntress, dan SPAN 2.0; Treasury Intelligence Layer	Mengintegrasikan transaksi–kinerja, analitik risiko yang dapat dijelaskan, verifikasi manusia, keputusan dan tindak lanjut yang terlacak, serta akuntabilitas publik dalam satu rancangan berlapis	Mengisi kesenjangan integrasi pada tingkat desain konseptual; efektivitas teknis dan operasional tetap memerlukan validasi melalui uji coba

Sumber: Diolah Penulis

Lebih lanjut, pemetaan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penelitian terdahulu mencakup beberapa komponen yang relevan, tetapi pada domain yang masih terpisah. Studi mengenai SIPD terutama membahas efektivitas perencanaan, pengelolaan keuangan, dan kualitas pelaporan pada pemerintah daerah (Tumija & Ramadhan, 2023; Teken & Romarina, 2024; Wahyudi et al., 2024). Studi lainnya memperluas pemanfaatan data melalui analitik dan prediksi anggaran (Setiawan, 2025; Valle-Cruz et al., 2022), sedangkan Permata & Rafi (2026) menekankan interoperabilitas dan pemanfaatan data publik. Dalam korpus literatur yang dianalisis, studi-studi tersebut belum menunjukkan suatu rancangan yang secara bersamaan mempertahankan SPAN dan SAKTI sebagai sumber data resmi, menghubungkan transaksi dengan capaian program, menghasilkan peringatan risiko yang dapat dijelaskan dan diverifikasi manusia, merekam alasan keputusan dan tindak lanjut, serta menghubungkannya dengan mekanisme akuntabilitas publik. Dengan demikian, kesenjangan penelitian ini terletak pada belum terintegrasinya fungsi-fungsi tersebut ke dalam satu arsitektur pendukung keputusan yang dapat ditelusuri. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui perancangan Treasury Intelligence Layer pada tingkat konseptual.

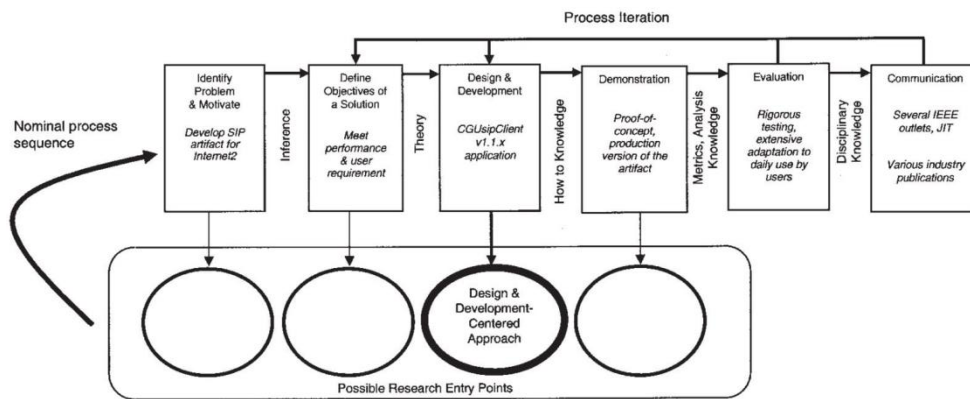
Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang *Treasury Intelligence Layer* untuk mendukung *evidence-based budgeting* pada SPAN dan SAKTI tanpa menggantikan fungsi transaksi, akuntansi, dan pelaporan keduanya. Rancangan ini menghubungkan data transaksi dengan capaian program, menyediakan *early warning* terhadap risiko fiskal, serta membangun mekanisme umpan balik publik yang dapat ditelusuri. Perancangan menggunakan *Design Science Research* melalui identifikasi masalah, penetapan tujuan, pengembangan artefak, demonstrasi, dan evaluasi desain (Peffer et al., 2007). Kualitas rancangan dievaluasi berdasarkan pilar *Functional*, *IT Architectural*, serta *Governance and Management* dalam *Digital Solutions Guidelines for Public Financial Management* IMF, sedangkan kesiapan implementasinya dianalisis melalui dimensi *technology-organization-environment* (Tornatzky & Fleischer, 1990; Paso et al., 2023). Kebaruan penelitian terletak di penyatuan fungsi analitik fiskal, tata kelola teknologi, kesiapan organisasi,

human oversight, dan partisipasi publik dalam arsitektur implementasi bertahap. Atas dasar itu, penelitian ini berangkat dari satu pertanyaan strategis, yaitu bagaimana *Treasury Intelligence Layer* dapat dirancang dan diterapkan untuk mendukung *evidence-based budgeting* pada SPAN dan SAKTI dengan tetap menjaga akuntabilitas, keamanan data, dan pengawasan manusia?

2. METODE

a. Desain Penelitian dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan *Design Science Research* (DSR) sebagai kerangka utama serta studi literatur terarah dan analisis dokumen kualitatif sebagai teknik pengumpulan dan analisis data. DSR dipilih karena penelitian tidak hanya menjelaskan persoalan penganggaran, tetapi juga menghasilkan rancangan solusi yang ditujukan untuk menjawab persoalan tersebut. Rancangan solusi penelitian mencakup arsitektur *Treasury Intelligence Layer*, alur pertukaran data, pembagian peran pengguna, mekanisme pengendalian, skenario penggunaan, dan tahapan implementasi. Peffers et al. (2007) membagi DSR ke dalam enam aspek tahapan, yaitu identifikasi masalah dan motivasi, penetapan tujuan solusi, desain dan pengembangan, demonstrasi, evaluasi, serta komunikasi (Gambar 3). Keenam aspek tersebut diterapkan pada tingkat desain konseptual.



Gambar 3. Aspek Tahapan *Design Science Research* (Peffers et al., 2007)

Korpus rujukan penelitian terdiri atas 47 sumber, meliputi 16 artikel jurnal, 5 regulasi atau instrumen kebijakan, 2 prosiding konferensi, 1 buku, serta 23 publikasi dan dokumentasi kelembagaan, standar, laporan, atau sumber teknis. Sumber berada pada rentang publikasi 1990-2026; sumber yang lebih lama dipertahankan terutama sebagai rujukan seminal bagi kerangka metodologis dan konseptual. Artikel ilmiah berasal dari portal jurnal dan platform penerbit akademik, antara lain e-Journal IPDN, ScienceDirect/Elsevier, Taylor & Francis Online, Oxford Academic, Emerald Insight, ACM Digital Library, dan IEEE Xplore. Dokumen kelembagaan dan teknis bersumber dari portal resmi Kementerian Keuangan dan Direktorat Jenderal Perbendaharaan, IMF, OECD, IBP, World Bank, KFIS, NIST, GAO, Hyperledger Foundation, serta basis regulasi pemerintah.

Penelusuran menggunakan kombinasi istilah yang berkaitan dengan *evidence-based budgeting*, *public financial management*, *fiscal intelligence*, SPAN, SAKTI, MyIntress, SPAN 2.0, SIPD, *artificial intelligence*, interoperability, *open government data*, *human oversight*, *data governance*, *cloud computing*, dan *permissioned ledger*. Dokumen dipilih apabila relevan dengan pertanyaan penelitian dan memberikan bukti mengenai fungsi sistem keuangan pemerintah, keterhubungan transaksi dan kinerja, analisis risiko, transformasi digital PFM, tata kelola data dan teknologi, atau partisipasi publik. Sumber harus berupa artikel ilmiah, regulasi, publikasi lembaga berwenang, standar, atau dokumentasi teknis yang dapat diverifikasi. Dokumen dikeluarkan apabila bersifat duplikatif, tidak berkaitan substantif dengan pertanyaan penelitian, tidak dapat ditelusuri sumbernya, atau telah digantikan oleh versi resmi yang lebih mutakhir.

Pemilihan dokumen dilakukan melalui identifikasi sumber, penyaringan relevansi berdasarkan judul, abstrak atau uraian dokumen, pemeriksaan teks lengkap, serta klasifikasi sumber sesuai

kebutuhan analisis. Kelayakan sumber dinilai secara kualitatif berdasarkan relevansi, yaitu keterkaitan dengan pertanyaan penelitian; otoritas, yaitu kredibilitas dan mandat penerbit; kebaruan, terutama untuk perkembangan sistem, regulasi, dan teknologi; serta keterlacakan, yaitu tersedianya identitas penerbit, tahun, DOI atau alamat dokumen yang dapat diperiksa kembali. Temuan empiris pemerintah daerah digunakan sebagai pembelajaran implementasi dan tidak digeneralisasi sebagai kondisi SPAN dan SAKTI. Prinsip terakhir ini mempertahankan batas inferensi yang memang telah ditetapkan dalam naskah awal.

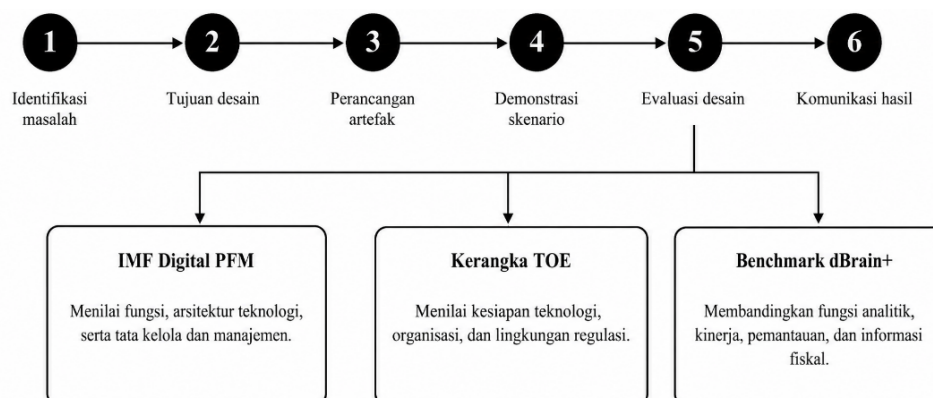
Analisis dokumen dilakukan melalui *thematic coding* dengan pendekatan deduktif dan induktif. Unit analisis berupa bagian teks, ketentuan, atau temuan yang memberikan bukti mengenai masalah, kebutuhan, kendala, atau prasyarat desain. *Deductive coding* menggunakan lima kategori awal, yaitu keterhubungan data dan kinerja, risiko fiskal, partisipasi publik, arsitektur teknologi, dan tata kelola implementasi. *Inductive coding* digunakan untuk menangkap subtema yang muncul dari dokumen, seperti keterjelasan model, kepemilikan data, ketergantungan penyedia, dan pengelolaan perubahan. Hasil coding dicatat dalam matriks ekstraksi yang memuat sumber, bukti utama, kategori, implikasi desain, aktor terkait, dan tahapan DSR yang didukung. Tema yang terbentuk kemudian diterjemahkan menjadi diagnosis kesenjangan, kebutuhan desain, respons rancangan, serta kontrol dan keluaran dalam *requirements traceability matrix*, sehingga hubungan antara bukti dokumen dan keputusan desain dapat ditelusuri.

b. Tahapan Perancangan dan Demonstrasi

Tahapan DSR dioperasionalkan sesuai kebutuhan perancangan *Treasury Intelligence Layer*. Tahap pertama mengidentifikasi masalah melalui analisis fungsi SPAN, SAKTI, MyIntress, dan SPAN 2.0, kebutuhan *evidence-based budgeting*, hasil *Open Budget Survey*, serta penelitian terdahulu. Tahap kedua menerjemahkan diagnosis tersebut menjadi tiga tujuan desain, yaitu menghubungkan transaksi dengan capaian program, menyediakan *early warning* risiko fiskal, dan membangun umpan balik publik yang dapat ditelusuri. Tahap ketiga menghasilkan arsitektur berlapis yang memisahkan sumber data, integrasi dan tata kelola data, analitik dan manajemen kasus, serta akses pengguna sehingga fungsi analitik dapat dikembangkan tanpa mengambil alih fungsi transaksi, akuntansi, dan pelaporan SPAN dan SAKTI.

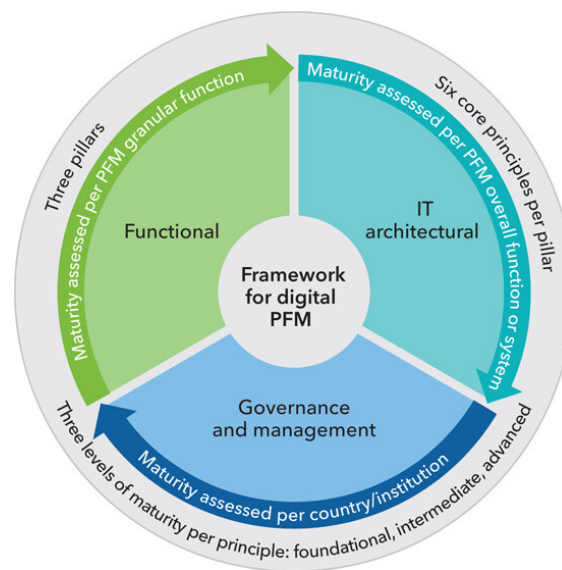
Tahap keempat mendemonstrasikan artefak melalui *scenario-based walkthrough*. Skenario menelusuri proses sejak sistem mendeteksi ketidaksesuaian antara realisasi program dan kemajuan keluaran, menghasilkan sinyal beserta faktor pemicunya, dilanjutkan verifikasi analisis, keputusan pejabat berwenang, pencatatan alasan dan tindak lanjut, hingga penyajian informasi teragregasi kepada publik. Demonstrasi digunakan untuk memeriksa konsistensi hubungan antara data, fungsi, aktor, kontrol, dan keluaran, bukan untuk membuktikan akurasi model atau efektivitas sistem dalam lingkungan operasional. Tahap kelima melakukan evaluasi konseptual terhadap artefak, sedangkan tahap keenam mengomunikasikan hasil melalui arsitektur, matriks kebutuhan, skenario, peta jalan implementasi, indikator evaluasi, dan rekomendasi kebijakan.

c. Evaluasi dan Validitas Konseptual



Gambar 4. Kerangka Evaluasi Konseptual Penelitian (Diolah Penulis)

Evaluasi konseptual dilakukan menggunakan tiga instrumen dan satu *benchmark* fungsional (Gambar 4). Pertama, *requirements traceability matrix* memeriksa keterhubungan setiap kebutuhan dengan fungsi, pengguna, kontrol, keluaran, dan indikatornya. Kebutuhan dinilai terpenuhi apabila seluruh unsur wajib dapat ditelusuri dalam rancangan, sedangkan pemenuhan parsial atau konflik regulasi, data, dan kewenangan dicatat sebagai isu terbuka untuk diselesaikan pada tahap uji coba. Kedua, *Digital Solutions Guidelines for Public Financial Management* IMF untuk mengevaluasi pilar *Functional*, *IT Architectural*, serta *Governance and Management* (Paso et al., 2023) (Gambar 5). Ketiga pilar tersebut masing-masing menilai kesesuaian fungsi dengan proses dan kebutuhan pengguna; integrasi, data, keamanan, interoperabilitas, skalabilitas, serta keberlanjutan teknologi; dan pembagian kewenangan, kepemilikan proses, kapasitas organisasi, pendanaan, pengadaan, serta pengelolaan perubahan. Setiap aspek diklasifikasikan sebagai belum terpenuhi, terpenuhi sebagian, atau terpenuhi secara konseptual.



Gambar 5. Desain Digital PFM (Paso et al., 2023)

Ketiga, kerangka *Technology-Organization-Environment* menilai kesiapan teknologi, organisasi, dan lingkungan kebijakan (Tornatzky & Fleischer, 1990). Selain itu, dBrain+ Korea Selatan digunakan sebagai *benchmark* fungsi analitik, pengelolaan kinerja, pemantauan fiskal, dan penyajian informasi. Perbandingan tersebut bertujuan mengidentifikasi fungsi yang relevan beserta prasyarat penerapannya. Validitas konseptual diperkuat melalui triangulasi sumber dengan membandingkan regulasi, dokumentasi resmi, literatur akademik, standar teknis, dan studi empiris, serta triangulasi kerangka dengan membandingkan hasil matrix, pedoman digital PFM, dan TOE. Evaluasi bersifat *ex ante*, yaitu menilai konsistensi dan kesiapan rancangan sebelum implementasi. Oleh sebab itu, implementasi awal diarahkan melalui uji coba terbatas dalam lingkungan terkontrol sebelum diperluas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Diagnosis Kesenjangan dan Kebutuhan Desain



Gambar 6. Diagnosis Kesenjangan (Penulis, 2026)

SPAN telah mengintegrasikan proses penganggaran, komitmen, pembayaran, penerimaan, kas, serta akuntansi dan pelaporan, sedangkan SAKTI mendukung pengelolaan keuangan kementerian dan lembaga melalui basis data serta proses *input* yang terintegrasi. Pada versi berbasis web, aplikasi dapat diakses melalui peramban tanpa instalasi pada perangkat pengguna dan didukung oleh pengaturan peran, *maker*, *checker*, *approver*, penelusuran jurnal, serta pembatasan hak akses (DJPb, 2021; 2026a). Perkembangan *My Integrated Treasury System* (MyIntress) dan *Enhancement SPAN 2.0* juga telah memperkuat *monitoring* transaksi, konsolidasi data, capaian *output*, serta penggunaan *Oracle Enterprise Command Center* sebagai *dashboard* analitik operasional (DJPb, 2025; 2026). Hasil analisis dokumen menunjukkan bahwa kesenjangan bukan terutama terletak pada ketiadaan sistem transaksi atau *monitoring*, melainkan pada belum terpetakannya satu alur menyeluruh yang menghubungkan transaksi, capaian program, penjelasan risiko, verifikasi analisis, keputusan pejabat, tindak lanjut, serta akuntabilitas publik (Gambar 6). Kesenjangan pertama berkaitan dengan hubungan antara data transaksi dan kinerja program. *Enhancement SPAN 2.0* telah menyelaraskan data SPAN dan SAKTI hingga rincian *output*, komponen, subkomponen, dan item, tetapi hubungan belanja dengan hasil pembangunan belum dapat dibaca secara langsung (DJPb, 2026). *Output* menunjukkan barang atau layanan yang dihasilkan, sedangkan *outcome* menggambarkan perubahan setelah keluaran dimanfaatkan. OECD (2019) menegaskan bahwa hubungan antara belanja dan *outcome* bersifat kompleks karena dipengaruhi karakteristik program, koordinasi antarlembaga, waktu, dan faktor eksternal. Temuan ini menunjukkan kebutuhan untuk menghubungkan data transaksi dan kinerja secara berjenjang tanpa menafsirkan hubungan keduanya sebagai hubungan kausal secara otomatis.

Kesenjangan kedua berkaitan dengan kedalaman analisis risiko. MyIntress telah menyediakan fungsi *early warning*, tetapi hasil analisis menunjukkan kebutuhan untuk membedakan sinyal pelaksanaan anggaran dari potensi risiko fiskal serta menyediakan penjelasan, verifikasi, dan mekanisme eskalasi (DJPb, 2025). Sinyal keterlambatan kontrak, penumpukan pembayaran, atau ketidaksesuaian kemajuan keuangan dan output terlebih dahulu merupakan risiko pelaksanaan anggaran dan baru dapat dikategorikan sebagai potensi risiko fiskal apabila berpotensi menyebabkan hasil fiskal berbeda dari rencana atau proyeksi pemerintah (IMF, 2018). Literatur juga menunjukkan bahwa AI dapat mendukung analisis dan pengambilan keputusan, tetapi hasilnya tetap memerlukan penilaian berdasarkan konteks dan kewenangan pengguna agar sinyal model tidak diperlakukan sebagai bukti pelanggaran (Valle-Cruz et al., 2022).

Kesenjangan ketiga berkaitan dengan akuntabilitas dan partisipasi publik. *Open Budget Survey 2025* mencatat skor transparansi Indonesia sebesar 71, sedangkan skor partisipasi publik sebesar 33 (IBP, 2025). Perbedaan ini memperlihatkan bahwa publikasi informasi belum otomatis menyediakan ruang keterlibatan konkret. Partisipasi substantif memerlukan informasi yang mudah

dipahami, kesempatan untuk memengaruhi penggunaan sumber daya, serta mekanisme masukan yang dapat ditelusuri (Sinervo et al., 2024). Manfaat *open government data* juga masih dapat terhambat oleh rendahnya interoperabilitas, pembaruan yang tidak konsisten, dan terbatasnya penggunaan masyarakat (Permata & Rafi, 2026). Dengan demikian, keterbukaan informasi perlu disertai mekanisme yang memungkinkan masukan, status penanganan, serta alasan tindak lanjut.

Ketiga temuan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan pengembangan tidak dapat dijawab hanya melalui penambahan teknologi. Implementasi sistem informasi keuangan pemerintah tetap dipengaruhi kemampuan pengguna, stabilitas sistem, pelatihan, dan dukungan organisasi (Teken & Romarina, 2024). Penelitian mengenai transformasi digital keuangan juga menekankan pentingnya kompetensi aparatur, adaptasi kelembagaan, dan evaluasi berkelanjutan (Rahmadany, 2024). Oleh karena itu, hasil analisis dokumen menghasilkan tiga kebutuhan desain, yaitu keterhubungan transaksi dan capaian program, peringatan risiko yang dapat dijelaskan dan diverifikasi, serta mekanisme umpan balik publik yang dapat ditelusuri. Hubungan antara temuan analisis dan respons desain diringkas pada Tabel 2.

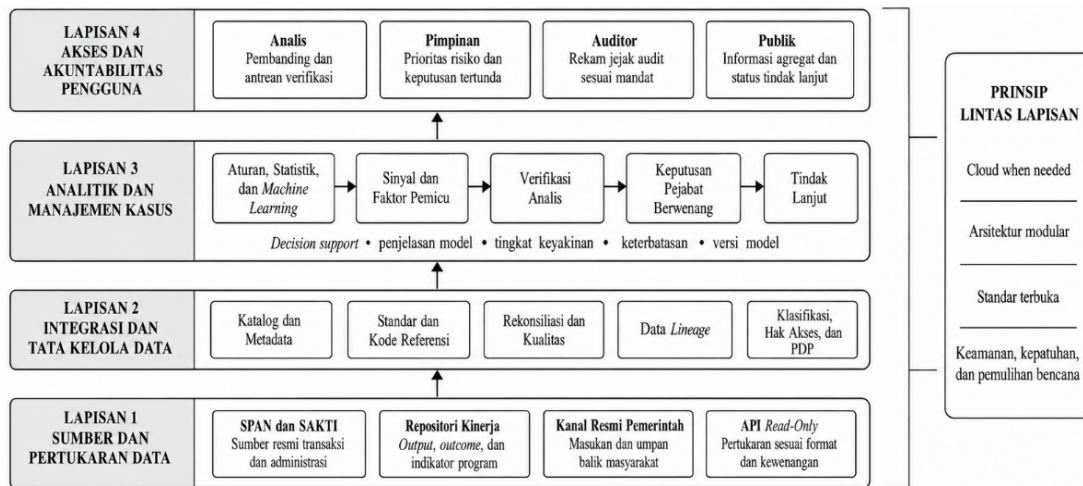
Tabel 2: Matriks Temuan Analisis Dokumen dan Respons Desain *Treasury Intelligence Layer*

Kebutuhan desain	Temuan hasil analisis dokumen	Respons desain penulis	Kontrol dan keluaran
Transaksi-capaian program	Data keuangan dan indikator kinerja memiliki unit, kode, periode, dan tingkat agregasi berbeda.	Pemetaan berjenjang akun-kegiatan-keluaran-program-indikator-unit.	Validasi kode dan metadata; keluaran berupa perbandingan kemajuan keuangan dan capaian tanpa klaim kausal langsung.
Peringatan risiko	Anomali pelaksanaan sering disamakan dengan risiko fiskal atau penyimpangan.	Taksonomi dua tingkat: risiko pelaksanaan anggaran dan eskalasi potensi risiko fiskal.	Penjelasan pemicu, ambang materialitas, verifikasi analisis, keputusan pejabat, dan pencatatan status.
Umpan balik publik	Informasi tersedia, tetapi masukan dan tindak lanjut belum selalu dapat ditelusuri.	Kanal masukan terhubung dengan program, unit, tenggat, dan status penanganan.	Agregasi, minimisasi data, perlindungan identitas, serta alasan tindak lanjut atau penolakan.

Sumber: Diolah Penulis

b. *Treasury Intelligence Layer*: Respons Desain terhadap Temuan Analisis

Treasury Intelligence Layer dirancang sebagai lapisan pendukung keputusan di atas ekosistem perbendaharaan yang telah berjalan. Nilai tambah *Treasury Intelligence Layer* terletak pada kemampuannya menghubungkan data dengan capaian program, penjelasan risiko, verifikasi manusia, alasan keputusan, dan tindak lanjut yang dapat ditelusuri. Untuk menjalankan fungsi ini, arsitektur dibagi menjadi empat lapisan yang mencakup sumber dan pertukaran data, integrasi dan tata kelola data, analitik dan manajemen kasus, serta akses dan akuntabilitas pengguna (Gambar 7). Pemisahan ini sejalan dengan pedoman digital PFM yang menganjurkan arsitektur modular, interoperabel, dan berorientasi pada kebutuhan proses bisnis (Paso et al., 2023).



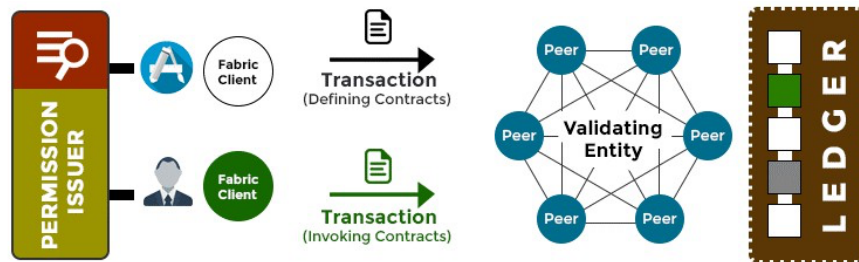
Gambar 7. Arsitektur Treasury Intelligence Layer (Penulis, 2026)

Lapisan pertama mempertahankan SPAN dan SAKTI sebagai sumber resmi data transaksi dan administrasi keuangan. Hal ini konsisten dengan ketentuan MyIntress bahwa data pada kedua sistem tetap menjadi rujukan apabila terdapat perbedaan informasi pada aplikasi monitoring (DJPb, 2026). Data kinerja tetap berasal dari sistem pemilik program, sedangkan masukan masyarakat diperoleh melalui kanal resmi pemerintah. Pertukaran data dalam rancangan dilakukan melalui *application programming interface* (API), yaitu mekanisme yang memungkinkan sistem bertukar data berdasarkan format dan kewenangan yang telah ditetapkan. Pada tahap awal, akses diusulkan bersifat *read-only* agar lapisan analitik hanya membaca data dan setiap koreksi tetap dilakukan pada sistem sumber. Pendekatan interoperabilitas ini memungkinkan sistem berkomunikasi tanpa harus menyatukan seluruh aplikasi atau memindahkan kepemilikan datanya (Paso et al., 2023).

Lapisan kedua memastikan konsistensi definisi, kualitas, keamanan, dan tata kelola data melalui katalog, metadata, kode referensi, rekonsiliasi, pemeriksaan format, serta *data lineage*. Prinsip ini mengikuti Perpres 39/2019 dan Permenkominfo 1/2023 mengenai standar data, interoperabilitas, metadata, dan kode referensi. Data diklasifikasikan berdasarkan tingkat keterbukaan dan sensitivitasnya, sedangkan akses diberikan sesuai peran, tujuan, dan kewenangan pengguna dengan tetap memperhatikan UU 27/2022. *Cloud computing* dalam penelitian ini tidak ditetapkan sebagai arsitektur implementasi tertentu, tetapi diposisikan sebagai salah satu opsi kapasitas komputasi dan pertukaran data yang dapat dipertimbangkan sesuai kebutuhan (Mell & Grance, 2011). Pilihan antara infrastruktur pemerintah, *private cloud*, *hybrid cloud*, atau alternatif lainnya perlu ditentukan melalui pengujian klasifikasi data, keamanan, ketersediaan layanan, lokasi pemrosesan, pemulihan bencana, biaya, dan kepatuhan regulasi. Pedomannya IMF juga menganjurkan strategi *cloud when needed* yang mempertimbangkan biaya, kinerja, keamanan, dan kepatuhan sebelum penggunaan layanan cloud (Paso et al., 2023). Komponen modular dan standar terbuka dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan interoperabilitas dan mengurangi ketergantungan pada satu penyedia.

Lapisan ketiga mengolah data menjadi sinyal risiko dan kasus yang dapat ditindaklanjuti. Analisis berbasis aturan digunakan untuk indikator yang telah ditetapkan, sedangkan analisis statistik digunakan untuk membandingkan pola historis. *Machine learning* atau AI hanya dipertimbangkan apabila kesiapan data dan hasil pengujian menunjukkan manfaat tambahan dibandingkan metode yang lebih sederhana. Penelitian ini tidak membangun atau menguji model AI tertentu. Valle-Cruz et al. (2022) menunjukkan bahwa AI berpotensi membantu pengenalan pola dan pengambilan keputusan anggaran, tetapi manfaatnya bergantung pada desain, data, serta kemampuan pengguna memahami hasil model. Apabila AI digunakan pada tahap implementasi berikutnya, setiap sinyal dalam rancangan perlu menyertakan sumber data, alasan pemicu, pembandingan, tingkat keyakinan, keterbatasan, dan versi model agar mendukung prinsip validitas, keamanan, transparansi, keterjelasan, privasi, dan pengendalian bias (NIST, 2023). Analisis tetap memverifikasi sinyal dan pejabat berwenang menetapkan tindakan. Verifikasi manusia diperlukan

untuk mengurangi risiko *automation bias*, yaitu kecenderungan pengguna terlalu mengandalkan rekomendasi sistem atau menerimanya tanpa penilaian kritis (Alon-Barkat & Busuioc, 2023). Oleh karena itu, *Treasury Intelligence Layer* dirancang tidak melakukan tindakan fiskal secara otomatis seperti menahan pembayaran, mengubah anggaran, atau menjatuhkan sanksi. Keputusan akhir tetap berada pada pejabat berwenang dan disertai alasan yang dapat ditelusuri.



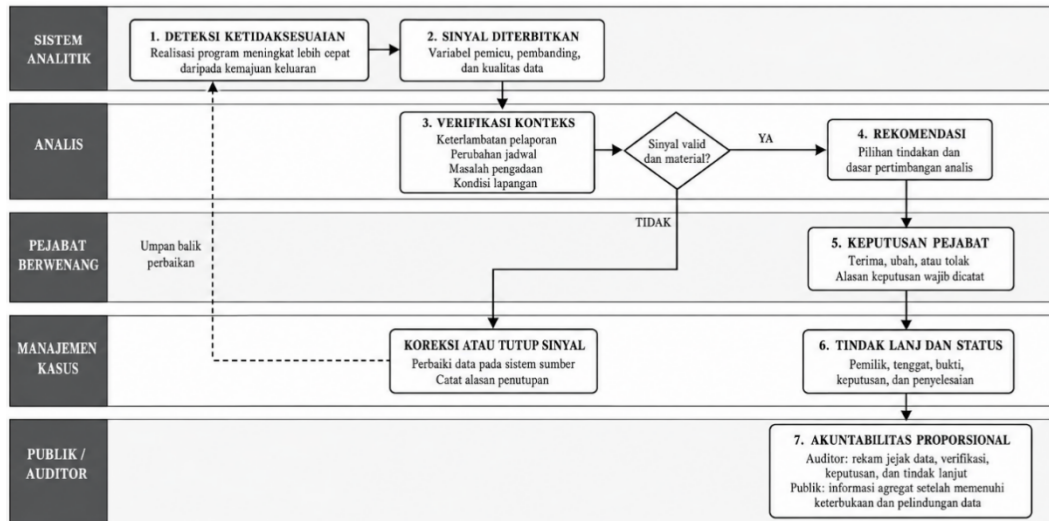
Gambar 8. Cara Kerja Hyperledger Fabric (Pintu, 2025)

Permissioned ledger dalam penelitian ini diposisikan sebagai opsi desain bersyarat, bukan sebagai komponen yang telah dipilih atau diuji. Penggunaannya hanya relevan apabila beberapa unit membutuhkan catatan status bersama yang harus diverifikasi lintas pihak dan kebutuhan tersebut tidak dapat dipenuhi secara memadai oleh basis data konvensional beserta *audit log*. *Hyperledger Fabric* dapat menjadi salah satu alternatif karena menggunakan identitas peserta dan kebijakan akses untuk mengelola jaringan *permissioned blockchain* (Androulaki et al., 2018; Hyperledger Foundation, 2026). Rancangan ini tidak mengusulkan pencatatan ulang seluruh transaksi APBN pada blockchain. Jika *ledger* kelak terbukti diperlukan, data yang disimpan dibatasi pada identitas peran, waktu, status proses, dan *hash* untuk memeriksa integritas dokumen, sedangkan dokumen lengkap tetap berada dalam repositori resmi. Kelayakan, manfaat, biaya, dan nilai tambah pendekatan tersebut belum diuji dalam penelitian ini dan perlu dibandingkan dengan basis data konvensional pada tahap prototipe atau uji coba.

Lapisan keempat menyajikan keluaran sesuai kebutuhan dan kewenangan pengguna. Analis memperoleh data pembanding, penjelasan sinyal, dan antrean verifikasi, sedangkan pimpinan memperoleh prioritas risiko dan keputusan yang belum ditindaklanjuti. Auditor dapat menelusuri hubungan antara data, pemeriksaan, keputusan, dan tindak lanjut sesuai mandatnya. Informasi publik disalurkan melalui kanal fiskal resmi yang telah tersedia, bukan melalui portal paralel. Masyarakat hanya menerima informasi teragregasi mengenai alokasi, realisasi, keluaran, capaian, dan status tindak lanjut tanpa memperoleh akses terhadap data pribadi atau informasi yang dilindungi. Seluruh antarmuka menggunakan definisi, kode referensi, dan periode data yang sama untuk mencegah perbedaan angka maupun penafsiran antarpengguna.

c. Demonstrasi Skenario dan Batas Evaluasi

Rancangan didemonstrasikan melalui *scenario-based walkthrough*, yaitu penelusuran bertahap mengenai respons sistem dan pengguna terhadap suatu kasus sebagai bagian dari DSR (Peffer et al., 2007) (Gambar 9). Skenario dimulai ketika sistem diasumsikan mendeteksi realisasi program yang meningkat lebih cepat daripada kemajuan keluarannya. Sistem kemudian menghasilkan sinyal beserta variabel pemicu dan informasi kualitas data. Analis memeriksa kemungkinan keterlambatan pelaporan, perubahan jadwal, masalah pengadaan, atau kondisi lapangan. Pejabat berwenang dapat menerima, mengubah, atau menolak rekomendasi dengan mencatat alasan dan tindak lanjutnya. Informasi disampaikan kepada publik hanya setelah memenuhi ketentuan agregasi, keterbukaan, dan perlindungan data. *Scenario-based walkthrough* digunakan untuk mendemonstrasikan koherensi logis rancangan, yaitu apakah data, fungsi, pengguna, kontrol, keputusan, dan keluaran dapat dihubungkan dalam satu alur. Demonstrasi tersebut bukan pengujian fungsional dan tidak menghasilkan bukti mengenai akurasi model, peningkatan kualitas keputusan, efisiensi proses, atau efektivitas *Treasury Intelligence Layer* dalam lingkungan operasional.



Gambar 9. Alur Sinyal, Verifikasi, Keputusan, dan Tindak Lanjut (Diolah Penulis)

d. Evaluasi Konseptual

Evaluasi konseptual menggabungkan *requirements traceability matrix*, tiga pilar *digital public financial management* IMF, dan *benchmark* fungsi dBrain+. Matriks keterlacakan memastikan setiap kebutuhan terhubung dari sumber masalah hingga pengguna, fungsi, kontrol, keluaran, dan indikator evaluasi sesuai konsep *requirements traceability* (Gotel & Finkelstein, 1994). Namun, keterwakilan kebutuhan dalam rancangan belum membuktikan bahwa fungsi dapat bekerja dengan data dan pengguna aktual. Oleh sebab itu, evaluasi bersifat *ex ante*, yaitu menilai kelengkapan dan konsistensi rancangan sebelum solusi diterapkan dalam lingkungan operasional (Venable et al., 2016). Tiga pilar IMF kemudian digunakan untuk menilai keselarasan fungsi, arsitektur teknologi, serta tata kelola dan manajemen, sehingga status terpenuhi secara konseptual, terpenuhi sebagian, dan belum dapat dinilai dalam penelitian ini merupakan kategori analitis yang disesuaikan dengan evaluasi *ex ante* (Paso et al., 2023). Pada pilar *Functional*, rancangan dinilai terpenuhi secara konseptual karena pemetaan transaksi dan kinerja, peringatan risiko, serta mekanisme umpan balik telah dihubungkan dengan pengguna dan tindakan yang diharapkan. Penilaian ini sejalan dengan prinsip IMF bahwa solusi digital harus berorientasi pada tujuan dan mendukung proses bisnis, bukan sekadar menambah fitur teknologi (Paso et al., 2023).

Namun, relevansi indikator, beban kerja pengguna, dan pengaruh informasi terhadap keputusan belum dapat dinilai tanpa uji coba. Jadi, evaluasi lanjutan perlu mengukur perubahan waktu deteksi, kualitas penjelasan, konsistensi tindak lanjut, dan proporsi fungsi yang digunakan. Pada pilar *IT Architectural*, rancangan baru terpenuhi sebagian. Dari sisi arsitektur, interoperabilitas, metadata, kontrol akses, modularitas, keamanan, dan pengelolaan siklus hidup model telah dirumuskan, tetapi kompatibilitas dengan SPAN, SAKTI, MyIntress, dan repositori kinerja, serta kualitas data, kapasitas infrastruktur, ketahanan layanan, performa model, dan biaya integrasi belum diuji. Oleh karena itu, tahap berikutnya memerlukan inventarisasi antarmuka, pemetaan aliran dan kualitas data, pengujian keamanan, serta perbandingan biaya alternatif teknologi. AI, *cloud*, dan *permissioned ledger* hanya dilanjutkan apabila evaluasi berikutnya menunjukkan kebutuhan dan manfaat tambahan dibandingkan alternatif yang lebih sederhana. Pada pilar *Governance and Management*, rancangan solusi telah memetakan kebutuhan sponsor bisnis, pemilik data, analis, pejabat pengambil keputusan, pengelola keamanan, auditor, dan pengembang. Namun, pembagian kewenangan lintas unit, pendanaan berkelanjutan, pengadaan, kepemilikan model, penanganan keberatan, dan penghentian sistem belum dapat dipastikan melalui analisis dokumen. DJPb dapat mengoordinasikan kebutuhan perbendaharaan, tetapi definisi kinerja, akses data, dan tindak lanjut tetap memerlukan keterlibatan unit anggaran, pemilik program, pengelola teknologi informasi, pengawas, dan unit hukum. Oleh sebab itu, kedua pilar harus divalidasi melalui konsultasi kelembagaan dan uji coba terbatas sebelum implementasi diperluas (Paso et al., 2023).

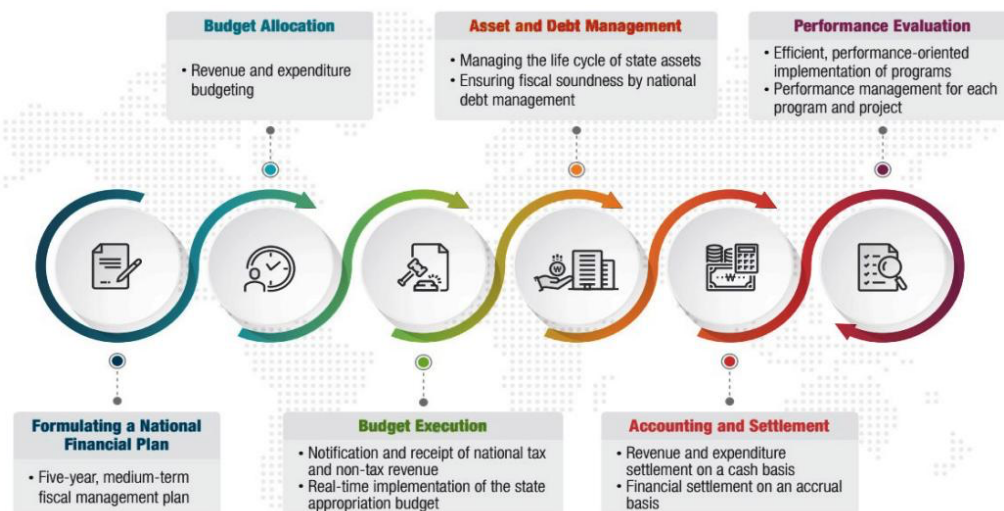
Tabel 3: Hasil Evaluasi Konseptual

Pilar evaluasi	Hasil utama	Status	Isu yang harus divalidasi
<i>Functional</i>	Tiga kebutuhan memiliki pengguna, alur keputusan, keluaran, dan indikator konseptual.	Terpenuhi secara konseptual	Kegunaan keluaran, beban kerja, kualitas indikator, dan perubahan keputusan.
<i>IT Architectural</i>	Integrasi, metadata, akses, keamanan, modularitas, dan siklus hidup model telah dirumuskan.	Terpenuhi sebagian	Kompatibilitas sistem, kualitas data, performa, ketahanan, keamanan, dan biaya alternatif.
<i>Governance and Management</i>	Peran utama dan prinsip tata kelola telah dipetakan.	Terpenuhi sebagian	Mandat lintas unit, pendanaan, pengadaan, kepemilikan model, keberatan, dan penghentian.

Sumber: Paso et al. (2023); diolah

e. Pembandingan dBrain+ dan Posisi Kebaruan Penelitian

dBrain+ digunakan sebagai *benchmark* fungsional karena mengelola penganggaran, pelaksanaan, dana, aset negara, akuntansi, dan penyelesaian transaksi dalam satu sistem (Gambar 10). Sistem tersebut mendukung monitoring waktu nyata, pengelolaan kinerja, manajemen risiko fiskal, analisis statistik, proyeksi, serta penyediaan informasi keuangan kepada publik (KFIS, 2025). Korea juga menghubungkan dBrain+ dengan *Open Fiscal Data* untuk menyajikan pendapatan, belanja, saldo fiskal, utang, dan indikator lain dalam tingkat rincian yang berbeda bagi masyarakat umum dan pengguna profesional. Versi baru dBrain yang diluncurkan pada 2022 menggunakan AI, antara lain untuk memperbarui proyeksi harian saldo kas negara (OECD, 2025a).



Gambar 10. Integrasi Sistem dBrain+ (KFIS, 2025)

Pembandingan tersebut perlu dibatasi karena keberhasilan ekosistem Korea tidak hanya bergantung pada dBrain+ (Tabel 4). Pengelolaan kinerja program juga didukung oleh *Integrated Evaluation System* dan *performance-based budgeting* yang menghubungkan indikator, evaluasi program, perencanaan keuangan, dan realokasi sumber daya (OECD, 2025b). Dengan demikian, pembelajaran utama bagi Indonesia bukan membangun salinan dBrain+, tetapi memastikan keterhubungan antara sistem transaksi, informasi kinerja, analisis, keputusan, dan komunikasi publik. Dalam konteks ini, *Treasury Intelligence Layer* tetap dirancang sebagai lapisan tambahan di atas SPAN dan SAKTI karena Indonesia telah memiliki sistem transaksi dan monitoring yang terus dikembangkan. Perbedaan mandat, skala, regulasi, struktur organisasi, serta kematangan data menjadikan dBrain+ sebagai pembandingan fungsi, bukan model implementasi yang diasumsikan dapat ditransfer secara langsung.

Tabel 4: Pembandingan Fungsi dBrain+ dan *Treasury Intelligence Layer*

Aspek	Pembelajaran dari dBrain+	Adaptasi dalam rancangan	Batas transferabilitas
Posisi sistem	Mengintegrasikan berbagai proses dan informasi fiskal.	Lapisan analitik di atas SPAN dan SAKTI.	Tidak mengganti sumber transaksi dan pelaporan yang telah berjalan.
Analitik	Mendukung pemantauan dan analisis statistik fiskal.	Deteksi risiko pelaksanaan, eskalasi potensi risiko fiskal, dan dukungan keputusan.	Dimulai dari kasus terbatas; manfaat AI harus dibandingkan dengan aturan dan statistik.
Informasi publik	Informasi fiskal disalurkan melalui Open Fiscal.	Keluaran agregat disalurkan melalui kanal resmi Indonesia.	Definisi, klasifikasi, hak akses, dan prosedur respons harus stabil.
Kinerja program	Didukung oleh sistem evaluasi dan performance-based budgeting yang saling terhubung	Menghubungkan data transaksi dengan indikator program dan unit penanggung jawab	Memerlukan kesepakatan indikator dan kepemilikan data lintas unit
Tata kelola	Beroperasi dalam struktur fiskal Korea Selatan.	Sponsor bisnis dan tata kelola lintas pemilik data.	Pembagian kewenangan harus mengikuti regulasi dan organisasi Indonesia.

Sumber: Diolah Penulis

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa rancangan telah memiliki konsistensi fungsi, tetapi kelayakan teknis dan kelembagaannya masih memerlukan validasi. Pembandingan dBrain+ memperkuat relevansi integrasi data, analitik, kinerja, dan informasi publik, sekaligus menunjukkan bahwa manfaat tersebut bergantung pada ekosistem sistem dan tata kelola yang matang. Oleh karena itu, *Treasury Intelligence Layer* dinilai sebagai rancangan solusi yang perlu dilanjutkan melalui uji coba terbatas yang menilai manfaat, kompatibilitas, risiko, biaya, serta penerimaan pengguna sebelum keputusan perluasan dibuat.

Lebih lanjut, pemetaan literatur menunjukkan bahwa komponen yang menjadi dasar *Treasury Intelligence Layer* telah dibahas dalam penelitian terdahulu, tetapi umumnya berada pada fokus yang terpisah. Tumija & Ramadhan (2023), Teken & Romarina (2024), dan Wahyudi et al. (2024) menunjukkan pentingnya integrasi sistem, kualitas informasi, kapasitas pengguna, dan efektivitas implementasi pada konteks SIPD. Setiawan (2025) menekankan potensi big data dan data science bagi pengelolaan keuangan, sedangkan Valle-Cruz et al. (2022) menunjukkan potensi AI sebagai alat bantu pengambilan keputusan anggaran. Permata & Rafi (2026) menyoroti interoperabilitas dan pemanfaatan open government data. Sementara itu, dBrain+ memperlihatkan kemungkinan integrasi fungsi transaksi, kinerja, analitik, dan informasi fiskal dalam ekosistem yang lebih matang (KFIS, 2025; OECD, 2025a; 2025b). Dalam korpus literatur yang dianalisis, belum ditemukan rancangan yang secara bersamaan mempertahankan SPAN dan SAKTI sebagai sumber transaksi resmi, menghubungkan transaksi dengan capaian program, membedakan risiko pelaksanaan dari potensi risiko fiskal, menyediakan penjelasan dan verifikasi manusia terhadap sinyal analitik, merekam alasan keputusan serta tindak lanjut, dan menghubungkannya dengan akuntabilitas publik dalam satu alur yang dapat ditelusuri. Atas dasar itu, kebaruan penelitian ini tidak terletak pada penggunaan AI, *cloud*, atau *permissioned ledger* secara individual, melainkan pada rancangan *Treasury Intelligence Layer* sebagai arsitektur pendukung keputusan yang mengintegrasikan keterlacakan data–analisis–verifikasi–keputusan–tindak lanjut–akuntabilitas dengan tetap mempertahankan kewenangan manusia dan sistem sumber yang telah berjalan. Kebaruan tersebut masih berada pada tingkat desain konseptual dan memerlukan validasi teknis serta empiris pada penelitian berikutnya.

f. Kesiapan Implementasi dan *Stage-Gate Roadmap*

Kerangka *Technology-Organization-Environment* (TOE) digunakan untuk memetakan prasyarat implementasi. Kesiapan dinilai pada tingkat setiap skenario penggunaan agar kelemahan pada satu

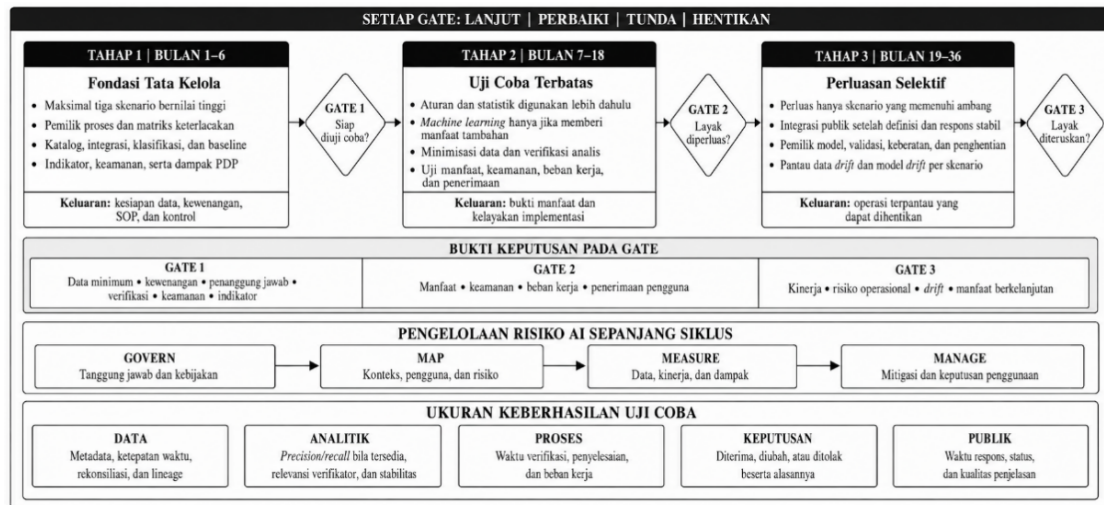
fungsi tidak menghambat fungsi lain yang lebih siap. Pendekatan tersebut sesuai dengan pedoman digital PFM yang menempatkan teknologi, proses bisnis, kapasitas organisasi, dan tata kelola sebagai unsur yang saling bergantung (Tornatzky & Fleischer, 1990; Paso et al., 2023). Pada konteks *technology*, SPAN, SAKTI, MyIntress, dan *Enhancement* SPAN 2.0 telah menyediakan fondasi transaksi, *monitoring*, konsolidasi, dan *early warning*. Namun, keberadaan sistem tersebut belum membuktikan bahwa data siap digunakan untuk seluruh kebutuhan analitik. Kesiapan perlu dinilai melalui data *readiness assessment* yang mencakup kelengkapan, ketepatan waktu, konsistensi definisi, riwayat asal, hak akses, serta kecukupan dan keterwakilan data untuk setiap kasus. NIST (2023) menempatkan ketersediaan, kesesuaian, dan representativitas data sebagai unsur yang harus diperiksa sebelum sistem AI dikembangkan atau digunakan. Oleh karena itu, kasus yang belum memiliki data memadai sebaiknya ditangani dengan aturan dan analisis deskriptif sebelum menggunakan model prediktif yang lebih kompleks.

Pada konteks *organization*, implementasi membutuhkan penanggung jawab manfaat, pemilik proses, pemilik data, analis, verifikator, pejabat pengambil keputusan, pengelola keamanan, auditor, dan pengembang. Kejelasan peran diperlukan agar keluaran analitik tidak berhenti sebagai notifikasi tanpa tindak lanjut. Selain kejelasan peran, implementasi juga memerlukan *change management* untuk mengurangi resistensi terhadap perubahan proses kerja dan penggunaan teknologi baru. Pengelolaan perubahan perlu mencakup komunikasi manfaat, pelibatan pengguna sejak tahap awal, pelatihan, serta dukungan pimpinan agar teknologi dipahami sebagai alat bantu kerja, bukan sekadar tambahan beban administratif. Studi penerapan SIPD di Kota Denpasar menunjukkan bahwa keterbatasan integrasi, gangguan aplikasi, adaptasi pengguna, serta minimnya pelatihan dapat mengurangi manfaat sistem informasi keuangan (Teken & Romarina, 2024). Kajian transformasi digital keuangan daerah juga menekankan pentingnya kompetensi aparatur, infrastruktur, dukungan organisasi, dan evaluasi berkelanjutan (Rahmadany, 2024). Atas dasar itu, pelatihan/*training* perlu mencakup cara membedakan anomali dan pelanggaran, memahami keterbatasan model, mendokumentasikan alasan keputusan, serta melaporkan kesalahan sistem. NIST (2023) juga menekankan perlunya pembagian peran dan tanggung jawab yang jelas dalam hubungan antara manusia dan AI.

Pada konteks *environment*, regulasi SPBE, Satu Data Indonesia, interoperabilitas, perlindungan data pribadi, dan etika AI memberikan dasar umum, tetapi tidak otomatis memberikan kewenangan untuk setiap pertukaran dan penggunaan data. Setiap skenario perlu memiliki tujuan pemrosesan, pemilik kewenangan, klasifikasi informasi, batas penggunaan, dan mekanisme pengawasan. Untuk pertukaran data yang melibatkan banyak unit atau kementerian, diperlukan pula payung kebijakan lintas instansi pada tingkat yang memadai guna menetapkan kewenangan, tanggung jawab, standar pertukaran, dan mekanisme koordinasi bersama. Bentuk pengaturannya dapat disesuaikan dengan cakupan kewenangan, misalnya melalui regulasi tingkat nasional atau keputusan bersama antarlembaga, sehingga *data sharing* tidak bergantung semata pada kesepakatan sektoral masing-masing unit. Penilaian dampak perlindungan data wajib dilakukan apabila pemrosesan memenuhi kriteria berisiko tinggi sebagaimana diatur dalam Pasal 34 UU PDP. Pedoman etika AI (SE Menkominfo 9/2023) juga menekankan kehati-hatian, transparansi, akuntabilitas, keamanan, dan perlindungan data. Pengadaan teknologi selanjutnya perlu menjamin portabilitas data, interoperabilitas, hak audit, dokumentasi, standar layanan, dan strategi keluar agar pemerintah tidak bergantung pada satu penyedia.

Berdasarkan ketiga konteks tersebut, implementasi dilakukan menggunakan *stage-gate roadmap* atau peta jalan yang membagi pengembangan ke dalam beberapa tahap dengan titik keputusan yang jelas (Gambar 11). Model *stage-gate* menempatkan evaluasi di antara tahapan pengembangan agar kelanjutan inisiatif ditentukan berdasarkan bukti, bukan hanya karena kegiatan sebelumnya telah dilakukan (Cooper, 1990). Pada akhir setiap tahap, pengambil keputusan dapat melanjutkan, memperbaiki, menunda, atau menghentikan pengembangan. Rentang waktunya bersifat indikatif karena pelaksanaan bergantung pada kesiapan data, hasil pengujian, sumber daya, dan keputusan kelembagaan. Pengelolaan risiko AI dilakukan sepanjang siklus pengembangan

melalui fungsi *govern*, *map*, *measure*, dan *manage* mencakup penetapan tanggung jawab, pemetaan konteks, pengukuran risiko, serta keputusan mengenai kelanjutan penggunaan sistem (NIST, 2023).



Gambar 11. Stage-Gate Roadmap Implementasi (Penulis, 2026)

Tahap pertama berlangsung pada bulan pertama hingga keenam dan berfokus pada fondasi tata kelola. Kegiatannya mencakup pemilihan maksimal tiga skenario bernilai tinggi, penetapan pemilik proses, penyusunan matriks keterlacakan kebutuhan, pemetaan integrasi, katalog dan klasifikasi data, pengukuran kondisi awal, penetapan indikator keberhasilan, serta pemetaan ancaman keamanan. Penilaian dampak perlindungan data dilakukan apabila skenario memproses data pribadi berisiko tinggi sesuai UU 27/2022 (UU PDP). Keluaran tahap pertama bukan aplikasi operasional, melainkan kesepakatan mengenai masalah, data, pengguna, kewenangan, prosedur tindak lanjut, dan kontrol. Uji coba hanya dimulai apabila tersedia data minimum, dasar kewenangan, penanggung jawab, prosedur verifikasi, arsitektur keamanan, dan ukuran keberhasilan.

Tahap kedua berlangsung pada bulan ketujuh hingga kedelapan belas melalui uji coba terbatas dalam lingkungan terkontrol. Pengujian dimulai dengan aturan dan analisis statistik pada kasus yang terdefinisi jelas, sedangkan *machine learning* digunakan hanya apabila memberi manfaat tambahan dibandingkan metode sederhana (Pattanayak et al., 2026). Data dibatasi sesuai kebutuhan skenario dan setiap sinyal tetap diverifikasi oleh analis, bukan menjadi dasar langsung sanksi atau tindakan administratif. Evaluasi uji coba mencakup waktu deteksi, relevansi sinyal, waktu penyelesaian, beban kerja, keamanan, keterlacakan keputusan, serta penerimaan pengguna.

Tahap ketiga berlangsung pada bulan kesembilan belas hingga ketiga puluh enam dengan memperluas hanya skenario yang memenuhi ambang manfaat, keamanan, dan penerimaan pengguna. Integrasi dengan kanal publik dilakukan setelah definisi indikator, tingkat agregasi, prosedur koreksi, dan standar respons telah stabil. Setiap model harus memiliki pemilik, dokumentasi, jadwal validasi, mekanisme keberatan, serta prosedur penghentian. Pemantauan juga perlu mendeteksi *data drift* dan *model drift*, yaitu perubahan karakteristik data atau hubungan yang dipelajari model yang dapat menurunkan kinerja. NIST (2023) merekomendasikan penilaian ulang terhadap metrik dan kinerja ketika terjadi perubahan data, model, atau lingkungan operasional. Perluasan dilakukan per skenario karena kesiapan data, risiko, dan kebutuhan pengguna dapat berbeda antarprogram.

Tabel 5: Kriteria Keputusan Uji Coba Berdasarkan Kerangka TOE

Konteks TOE	Syarat minimum menuju uji coba	Bukti yang harus tersedia	Risiko bila belum siap
<i>Technology</i>	Data minimum, metadata, interoperabilitas, kontrol akses, dan pemulihan	Profil kualitas data, peta integrasi, arsitektur keamanan, serta hasil uji teknis	Sinyal keliru, integrasi rapuh, kebocoran data, dan biaya tanpa manfaat
<i>Organization</i>	Sponsor, pemilik proses, tim lintas fungsi, SOP, dan pelatihan	RACI, prosedur verifikasi, kapasitas pengguna, serta komitmen pendanaan	Tindak lanjut tidak jelas, ketergantungan penyedia, dan penolakan pengguna
<i>Environment</i>	Dasar kewenangan, koordinasi, pengadaan, audit, dan kanal publik resmi	Analisis hukum, perjanjian data, mekanisme pengawasan, serta prosedur keberatan	Tumpang tindih kewenangan, rendahnya legitimasi, dan penyalahgunaan data

Sumber: Diolah Penulis

Keberhasilan uji coba dinilai melalui indikator data, analitik, proses, keputusan, dan publik agar evaluasi tidak berhenti pada akurasi model. Indikator data mengukur kelengkapan metadata, ketepatan waktu, hasil rekonsiliasi, dan keterlacakan asal data (Tabel 5). Indikator analitik mengikuti jenis model dan ketersediaan data pembanding. *Precision* dan *recall* digunakan ketika tersedia label sinyal benar dan salah, tetapi evaluasi model anomali juga perlu mempertimbangkan stabilitas, karakteristik anomali, ukuran model, dan kondisi operasional (Mejri et al., 2024). Model tanpa label pembanding dapat dinilai berdasarkan relevansi sinyal menurut verifikasi, konsistensi hasil, beban pemeriksaan, dan tindak lanjut. Indikator proses mengukur waktu verifikasi dan penyelesaian, indikator keputusan mencatat rekomendasi yang diterima, diubah, atau ditolak beserta alasannya, sedangkan indikator publik menilai waktu respons, keterlacakan status, dan kualitas penjelasan. Ambang evaluasi juga perlu ditetapkan sebelum uji coba agar indikator tidak dipilih setelah hasil diketahui.

Risiko implementasi mencakup kualitas data rendah, bias model, ketergantungan berlebihan pada rekomendasi sistem, kebocoran data, tumpang tindih kewenangan, penolakan pengguna, ketergantungan penyedia, dan biaya pemeliharaan. Mitigasinya mencakup tata kelola data, dokumentasi model, validasi independen, pembatasan akses, audit, standar terbuka, pemantauan berkala, dan rencana penghentian sesuai kerangka akuntabilitas AI GAO (GAO, 2021). Setiap teknologi juga harus melalui uji kebutuhan, manfaat, kelayakan, dan biaya alternatif (Pattanayak et al., 2026). Oleh sebab itu, *permissioned ledger* hanya digunakan apabila basis data konvensional dengan *log* belum memenuhi kebutuhan keterlacakan sehingga pemilihan teknologi tetap didasarkan pada masalah dan bukti manfaat, bukan kompleksitas atau kebaruannya.

g. Implikasi Kebijakan

Berdasarkan hasil analisis dokumen dan evaluasi konseptual, penelitian ini menghasilkan tiga implikasi kebijakan yang perlu dipahami sebagai arah pengembangan dan selanjutnya divalidasi melalui konsultasi kelembagaan serta uji coba. Implikasi kebijakan pertama adalah menempatkan *Treasury Intelligence Layer* sebagai penguatan proses pengambilan keputusan di dalam ekosistem SPAN, SAKTI, MyIntress, dan SPAN 2.0. Transformasi digital sektor publik tidak cukup dengan hanya menambahkan teknologi, tetapi memerlukan penataan ulang proses kerja, pembagian tanggung jawab, pertukaran data, dan hubungan dengan pengguna layanan (Mergel et al., 2019). Pengembangannya dimulai dengan pemetaan fungsi yang belum tersedia, standar definisi data, pemilik informasi, serta prosedur tindak lanjut. Interoperabilitas harus memungkinkan sistem bertukar dan menggunakan data secara konsisten tanpa menghilangkan kewenangan pemilik data atau menciptakan sumber pencatatan baru (World Bank, 2022). Untuk mendukung hal tersebut, diperlukan payung hukum yang tegas pada tingkat yang sesuai dengan cakupan kewenangan, misalnya melalui Peraturan Presiden dan/atau regulasi Kementerian Keuangan serta pengaturan bersama antarinstansi, yang menetapkan standar *data sharing*, kepemilikan data, hak akses,

tanggung jawab, dan mekanisme koordinasi lintas kementerian/lembaga. Pengaturan ini diperlukan agar pertukaran data kinerja program tidak bergantung pada kesepakatan sektoral masing-masing instansi dan dapat dilaksanakan secara konsisten. *Treasury Intelligence Layer* berfokus menghubungkan transaksi, kinerja program, risiko, keputusan, dan akuntabilitas publik.

Implikasi kedua adalah membangun tata kelola keputusan yang menjaga kewenangan dan tanggung jawab manusia. Hasil AI diperlakukan sebagai rekomendasi yang dapat diperiksa, ditolak, atau diperbaiki. Alon-Barkat & Busuioc (2023) menunjukkan penggunaan algoritma sebagai alat bantu keputusan tetap dapat memunculkan bias baru ketika pengguna terlalu percaya, mengabaikan, atau salah menafsirkan. Setiap sinyal perlu menyertakan sumber data, alasan pemicu, tingkat keyakinan, keterbatasan, hasil verifikasi, dan identitas pejabat yang menetapkan tindakan. Pengaturan ini diperlukan untuk menjaga legitimasi karena keputusan algoritmik pemerintah dapat menghadapi masalah partisipasi, kepatuhan prosedural, transparansi, dan kesesuaian dengan nilai publik apabila tidak disertai mekanisme kelembagaan memadai (Grimmelikhuijsen & Meijer, 2022). Dengan demikian, *human oversight* harus dilaksanakan sebagai proses pertanggungjawaban yang nyata, bukan sekadar persetujuan formal terhadap hasil model.

Implikasi ketiga adalah menerapkan teknologi secara selektif melalui uji coba bertahap. Neumann et al. (2024) menunjukkan bahwa adopsi AI berlangsung melalui beberapa tahap dan dipengaruhi kesiapan data, dukungan pimpinan, kompetensi internal, pengadaan, serta kemampuan organisasi mengelola perubahan. Setiap skenario harus terlebih dahulu dibandingkan dengan metode yang lebih sederhana (aturan atau analisis statistik), kemudian dinilai berdasarkan manfaat, biaya, keamanan, beban kerja, dan penerimaan pengguna. *Permissioned ledger* hanya relevan ketika beberapa unit dengan identitas yang diketahui memerlukan catatan bersama dan kebijakan validasi yang disepakati (Androulaki et al., 2018). Perluasan hanya dilakukan apabila uji coba menghasilkan bukti manfaat konsisten, sedangkan fungsi yang tidak memberi nilai tambah harus diperbaiki atau dihentikan. Pendekatan ini membuat pilihan teknologi mengikuti kebutuhan kebijakan dan kapasitas institusi, bukan mengikuti tren inovasi.

4. KESIMPULAN

Penganggaran berbasis bukti menuntut agar keputusan tidak hanya bertumpu pada realisasi belanja, tetapi juga mempertimbangkan capaian program, risiko, dan pengalaman masyarakat. SPAN, SAKTI, MyIntress, dan pengembangan SPAN 2.0 telah menyediakan fondasi transaksi, pelaporan, konsolidasi, dan pemantauan yang kuat. Namun, hasil analisis menunjukkan bahwa informasi tersebut masih perlu dihubungkan dalam alur yang menjelaskan hubungan transaksi dengan kinerja, membedakan sinyal risiko pelaksanaan dari potensi risiko fiskal, serta mencatat alasan keputusan dan tindak lanjut masukan publik. Kebutuhan tersebut tidak mengharuskan pembangunan sistem transaksi baru, melainkan dapat dilakukan melalui *Treasury Intelligence Layer* sebagai lapisan pendukung keputusan di atas ekosistem yang telah berjalan. Dalam perspektif yang lebih luas, rancangan ini dapat menjadi referensi bagi harmonisasi arsitektur dan standar pertukaran data antara SPAN/SAKTI di pemerintah pusat dan SIPD di pemerintah daerah. Harmonisasi tersebut diperlukan untuk membangun ekosistem *evidence-based budgeting* yang selaras dari pusat hingga daerah, sehingga informasi transfer fiskal, pelaksanaan anggaran, dan capaian program dapat ditelusuri secara konsisten tanpa harus menyatukan atau menggantikan sistem yang telah berjalan.

Penelitian menghasilkan rancangan empat lapisan yang mencakup sumber data terotorisasi, integrasi dan tata kelola data, analitik dan manajemen kasus, serta akses pengguna. *Cloud* ditempatkan sebagai kapasitas komputasi dan pertukaran data, AI sebagai alat bantu deteksi dan prediksi yang tetap memerlukan verifikasi manusia, sedangkan *permissioned ledger* hanya digunakan apabila jejak bersama lintas pihak tidak dapat dipenuhi oleh basis data konvensional. Evaluasi konseptual menunjukkan kebutuhan fungsional telah terwakili, tetapi kompatibilitas teknis dan tata kelola kelembagaan masih terpenuhi sebagian karena belum diuji dengan data dan

pengguna aktual. Pembandingan dBrain+ menegaskan pentingnya keterhubungan transaksi, kinerja, analitik, dan informasi publik, tetapi penerapannya perlu disesuaikan dengan sistem dan kewenangan Indonesia. Implikasi kebijakannya adalah pemerintah perlu mengembangkan lapisan ini secara augmentatif, selektif, dan bertahap tanpa memindahkan kewenangan fiskal kepada mesin.

Keterbatasan

Pemerintah, khususnya Kementerian Keuangan, dapat memulai uji coba terbatas pada maksimal tiga skenario bernilai tinggi yang memiliki data memadai. Sebelum pengembangan, pemerintah perlu menetapkan sponsor bisnis, pemilik proses dan data, dasar kewenangan, standar indikator, prosedur verifikasi, kontrol keamanan, kondisi penghentian, serta program *digital capacity building* bagi aparatur yang terlibat. Program tersebut perlu mencakup literasi data, pemahaman probabilitas dan ketidakpastian model, interpretasi keluaran AI, keterbatasan model, serta prosedur eskalasi ketika hasil sistem tidak sesuai dengan konteks operasional. Uji coba sebaiknya mendahulukan aturan dan analisis statistik, kemudian menambahkan *machine learning* hanya jika memberikan manfaat terukur. Keputusan perluasan harus didasarkan pada perbaikan waktu deteksi, kualitas penjelasan, konsistensi tindak lanjut, keamanan, biaya, dan penerimaan pengguna, bukan pada kebaruan teknologi.

Penelitian selanjutnya perlu membangun prototipe dan mengujinya menggunakan data aktual yang telah dikendalikan atau disamarkan. Pengujian perlu mencakup kualitas dan interoperabilitas data, akurasi serta keterjelasan model, bias, data drift, keamanan siber, biaya manfaat, dan beban kerja pengguna. Validasi juga perlu melibatkan analis perbendaharaan, satuan kerja, pemilik program, pengelola teknologi, auditor, dan perwakilan masyarakat. Desain sebelum dan sesudah penerapan atau kuasi-eksperimental dapat digunakan untuk membandingkan aturan, statistik, dan machine learning serta menilai apakah rancangan benar-benar memperbaiki keputusan dan akuntabilitas publik.

Acknowledgments

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan masukan selama pelaksanaan penelitian ini, termasuk PKN STAN dan Fakultas Manajemen Pemerintahan IPDN khususnya yang telah memberikan kesempatan mempublikasikan tulisan ini.

AI Usage Statement

Kecerdasan buatan (AI) digunakan secara terbatas hanya untuk membantu memeriksa kesalahan ketik (*typo*) dalam manuskrip. AI tidak digunakan untuk menghasilkan analisis, menginterpretasikan data, menyusun temuan, atau mengambil keputusan ilmiah. Seluruh isi dan tanggung jawab atas manuskrip tetap berada pada penulis.

Author Contributions

Penulis berkontribusi dalam konseptualisasi, metodologi, pengumpulan dan analisis data, penyusunan manuskrip, serta peninjauan dan persetujuan versi akhir.

Funding Statement

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal dari lembaga, organisasi, atau sponsor mana pun.

Conflict of Interest

Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan finansial, komersial, maupun pribadi yang dapat memengaruhi objektivitas penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Alon-Barkat, S., & Busuioc, M. (2023). Human-AI interactions in public sector decision making: "Automation bias" and "selective adherence" to algorithmic advice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 33(1), 153-169. <https://doi.org/10.1093/jopart/muac007>
- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., Enyeart, D., Ferris, C., Laventman, G., Manevich, Y., Muralidharan, S., Murthy, C., Nguyen, B., Sethi, M., Singh, G., Smith, K., Sorniotti, A., Stathakopoulou, C., Vukolić, M., ... Yellick, J. (2018). Hyperledger Fabric: A distributed operating system for permissioned blockchains. *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference (Article 30)*, 1-15. <https://doi.org/10.1145/3190508.3190538>
- Cooper, R. G. (1990). Stage-gate systems: A new tool for managing new products. *Business Horizons*, 33(3), 44. [https://doi.org/10.1016/0007-6813\(90\)90040-I](https://doi.org/10.1016/0007-6813(90)90040-I)
- Direktorat Jenderal Perbendaharaan. (2021a, Maret 25). Overview SAKTI Web. Kementerian Keuangan Republik Indonesia. Diakses dari <https://djpb.kemenkeu.go.id/kppn/kotabumi/id/sakti/mengenal-sakti/overview-sakti-web.html>
- Direktorat Jenderal Perbendaharaan. (2021b). Sistem Perbendaharaan dan Anggaran Negara (SPAN). Kementerian Keuangan Republik Indonesia. Diakses dari <https://djpb.kemenkeu.go.id/direktorat/smi/en/profil/sejarah/93-profil/165-sistem-perbendaharaan-dan-anggaran-negara-span.html>
- Direktorat Jenderal Perbendaharaan. (2025, November 14). MyIntress: Langkah besar menuju integrasi data monitoring transaksi APBN. Kementerian Keuangan Republik Indonesia. Diakses dari <https://djpb.kemenkeu.go.id/kppn/jakarta6/id/data-publikasi/pengumuman/2920-myintress-langkah-besar-menusu-integrasi-data-monitoring-transaksi-apbn.html>
- Direktorat Jenderal Perbendaharaan. (2026a, Maret 6). Enhancement SPAN 2.0 sebagai upaya transformasi sistem perbendaharaan negara. Kementerian Keuangan Republik Indonesia. Diakses dari <https://djpb.kemenkeu.go.id/kppn/balikpapan/id/data-publikasi/artikel/3171-enhancement-span-2-0-sebagai-upaya-transformasi-sistem-perbendaharaan-negara.html>
- Direktorat Jenderal Perbendaharaan. (2026b, April 9). MyIntress: Sistem monitoring pengelolaan APBN yang terintegrasi. Kementerian Keuangan Republik Indonesia. Diakses dari <https://djpb.kemenkeu.go.id/kppn/majene/id/data-publikasi/berita-terbaru/3045-myintress-sistem-monitoring-pengelolaan-apbn-yang-terintegrasi.html>
- Gotel, O. C. Z., & Finkelstein, A. C. W. (1994). An analysis of the requirements traceability problem. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Requirements Engineering* (pp. 94-101). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRE.1994.292398>
- Grimmelikhuijsen, S., & Meijer, A. (2022). Legitimacy of algorithmic decision-making: Six threats and the need for a calibrated institutional response. *Perspectives on Public Management and Governance*, 5(3), 232-242. <https://doi.org/10.1093/ppmgov/gvac008>
- Hyperledger Foundation. (2026). Hyperledger Fabric documentation. Diakses dari <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/>
- International Budget Partnership (IBP). (2025). Open Budget Survey 2025: Indonesia. Diakses dari <https://internationalbudget.org/sites/default/files/country-surveys-pdfs/2025/open-budget-survey-indonesia-2025-en.pdf>
- International Monetary Fund (IMF). (2018). Fiscal transparency handbook. Diakses dari www.elibrary.imf.org/display/book/9781484331859/9781484331859.xml
- Kementerian Keuangan Republik Indonesia. (2025). Informasi APBN Tahun Anggaran 2025. Diakses dari <https://media.kemenkeu.go.id/getmedia/c4cc1854-96f4-42f4-95b8-94cf49a46f10/Informasi-APBN-Tahun-Anggaran-2025.pdf>
- Korea Fiscal Information Service. (2025). Digital budget accounting system (dBrain+). Diakses dari https://fis.kr/en/main_biz/dBrain/digital_budget_account_system
- Mejri, N., Lopez-Fuentes, L., Roy, K., Chernakov, P., Ghorbel, E., & Aouada, D. (2024). Unsupervised

- anomaly detection in time-series: An extensive evaluation and analysis of state-of-the-art methods. *Expert Systems with Applications*, 256, 124922. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124922>
- Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing (NIST Special Publication 800-145). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>
- Mergel, I., Edelmann, N., & Haug, N. (2019). Defining digital transformation: Results from expert interviews. *Government Information Quarterly*, 36(4), 101385. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.06.002>
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2023). Artificial intelligence risk management framework (AI RMF 1.0) (NIST AI 100-1). <https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1>
- Neumann, O., Guirguis, K., & Steiner, R. (2024). Exploring artificial intelligence adoption in public organizations: A comparative case study. *Public Management Review*, 26(1), 114–141. <https://doi.org/10.1080/14719037.2022.2048685>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). OECD good practices for performance budgeting. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/c90b0305-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). Governing with artificial intelligence: Are governments ready? OECD Artificial Intelligence Papers, 20. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/26324bc2-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2025a). Digital government review of Korea: Harnessing digital and data to transform government. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9defc197-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2025b). Empowering fiscal reporting with digital and interactive approaches. OECD Papers on Budgeting. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/82070ddb-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2025c). Governing with artificial intelligence: The state of play and way forward in core government functions. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/795de142-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2025d). Using artificial intelligence in public financial management (GOV/SBO(2025)4). Diakses dari [https://one.oecd.org/document/GOV/SBO\(2025\)4/en/pdf](https://one.oecd.org/document/GOV/SBO(2025)4/en/pdf)
- Paso, R. D. L., Pattanayak, S., Uña, G., & Tourpe, H. (2023). Digital solutions guidelines for public financial management (IMF Technical Notes and Manuals No. 2023/07). International Monetary Fund. <https://doi.org/10.5089/9798400251634.005>
- Pattanayak, S., Rivero del Paso, L., Tourpe, H., & Cho, C. (2026). Harnessing emerging digital technologies toward a new frontier of public financial management (IMF Technical Notes and Manuals No. 2026/06). International Monetary Fund. <https://doi.org/10.5089/9798229040587.005>
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2023 tentang Interoperabilitas Data dalam Penyelenggaraan Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik dan Satu Data Indonesia. (2023). Diakses dari <https://peraturan.bpk.go.id/Details/255562/permenkominfo-no-1-tahun-2023>
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia. (2019). Diakses dari <https://peraturan.bpk.go.id/Details/108813/perpres-no-39-tahun-2019>
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 95 Tahun 2018 tentang Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik. (2018). Diakses dari <https://peraturan.bpk.go.id/Details/96913/perpres-no-95-tahun-2018>

- Permata, D., & Rafi, M. (2026). Open government data optimization through the "One Data" platform in Pekanbaru City. *Jurnal Ilmu Pemerintahan Suara Khatulistiwa*, 11(1). <https://doi.org/10.33701/jipsk.v11i1.6001>
- Pintu. (2025, Agustus 8). 6 informasi kunci untuk memahami teknologi Hyperledger Fabric: Pengertian, cara kerja, risiko, hingga versi 2.0. Diakses dari <https://pintu.co.id/news/191019-hyperledger-fabric-pengertian-cara-kerja-risiko-versi-2>
- Rahmadany, A. F. (2024). Transformasi digital pengelolaan keuangan daerah dalam mewujudkan agile government pada Reformasi Birokrasi 4.0. *Jurnal Ilmiah Administrasi Pemerintahan Daerah*, 16(2), 195–209. <https://doi.org/10.33701/jiabd.v16i2.4809>
- Setiawan, M. R. (2025). Integrasi big data dan data science dalam tata kelola keuangan daerah: Pembelajaran dari Kota Bandung. *JEKP (Jurnal Ekonomi dan Keuangan Publik)*, 12(1). <https://doi.org/10.33701/jekp.v12i1.5565>
- Sinervo, L.-M., Bartocci, L., Lehtonen, P., & Ebdon, C. (2024). Toward sustainable governance with participatory budgeting. *Journal of Public Budgeting, Accounting & Financial Management*, 36(1), 1–19. <https://doi.org/10.1108/JPBAFM-11-2023-0205>
- Surat Edaran Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2023 tentang Etika Kecerdasan Artifisial. (2023). Diakses dari jdih.komdigi.go.id/produk_hukum/view/883/t/surat%2Bedaran%2Bmenteri%2Bkomunikas i%2Bdan%2Binformatika%2Bnomor%2B9%2Btahun%2B2023
- Teken, I. K. A., & Romarina, A. (2024). Efektivitas penerapan Sistem Informasi Pemerintahan Daerah terhadap kinerja pengelolaan keuangan daerah Kota Denpasar. *Jurnal Terapan Pemerintahan Minangkabau*, 4(2), 111–123. <https://doi.org/10.33701/jtpm.v4i2.4419>
- Tornatzky, L. G., & Fleischer, M. (1990). *The processes of technological innovation*. Lexington Books.
- Tumija, & Ramadhan, A. Z. (2023). Efektivitas perencanaan anggaran dalam Sistem Informasi Pemerintahan Daerah (SIPD) di Kabupaten Gresik Provinsi Jawa Timur. *JEKP (Jurnal Ekonomi dan Keuangan Publik)*, 10(2), 143–157. <https://doi.org/10.33701/jekp.v10i2.3528>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi. (2022). <peraturan.bpk.go.id/Details/229798/uu-no-27-tahun-2022>
- United States Government Accountability Office (GAO). (2021). *Artificial intelligence: An accountability framework for federal agencies and other entities (GAO-21-519SP)*. Diakses dari <https://www.gao.gov/products/gao-21-519sp>
- Valle-Cruz, D., Fernandez-Cortez, V., & Gil-Garcia, J. R. (2022). From e-budgeting to smart budgeting: Exploring the potential of artificial intelligence in government decision-making for resource allocation. *Government Information Quarterly*, 39(2), 101644. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101644>
- Venable, J., Pries-Heje, J., & Baskerville, R. (2016). FEDS: A framework for evaluation in design science research. *European Journal of Information Systems*, 25(1), 77–89. <https://doi.org/10.1057/ejis.2014.36>
- Wahyudi, K. P., Johannes, A. W., Sinurat, M., & Romarina, A. (2024). Optimalisasi penerapan Sistem Informasi Pemerintahan Daerah dalam meningkatkan kualitas laporan keuangan di Kabupaten Gianyar. *JEKP (Jurnal Ekonomi dan Keuangan Publik)*, 11(1). <https://doi.org/10.33701/jekp.v11i1.4381>
- World Bank. (2022). *Interoperability: Towards a data-driven public sector*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/38520>