BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem *payroll* terdesentralisasi Payana yang menjawab keempat pertanyaan penelitian yang ditetapkan pada Bab I, dengan bukti empiris yang terukur dari hasil pengujian pada Bab V. Perlu ditegaskan bahwa penelitian ini bersifat rancang bangun (build-and-test) pada jalur Software Development Engineering, sehingga kesimpulan yang diuraikan merupakan generalisasi terhadap sistem dan lingkup pengujian yang dilaksanakan, bukan generalisasi statistik terhadap populasi pengguna yang lebih luas maupun klaim keamanan yang telah melalui audit independen; kedua aspek tersebut diuraikan secara eksplisit sebagai keterbatasan penelitian. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan hal-hal berikut.

1. Pertama, arsitektur *smart contract* berbasis Solidity yang dirancang, dengan kontrak CompanyVault sebagai pusat logika penggajian yang mengintegrasikan *streaming payment*, *cliff vesting*, mesin pajak, kasbon, dan PHK multi-tanda tangan, terbukti mampu mengotomasi proses penggajian secara aman dan efisien. Seluruh 28 butir uji pada KU-03 sampai KU-10 dinyatakan Handal, termasuk validasi tambahan melalui simulasi operasional 30 karyawan di jaringan Base Sepolia, tanpa ditemukan celah *reentrancy* pada fungsi manapun yang diuji.
2. Kedua, implementasi *Account abstraction* (ERC-4337) berhasil memfasilitasi transaksi klaim EWA tanpa biaya komputasi bagi karyawan. Proses pengujian juga menemukan bahwa keberhasilan transaksi *on-chain* saja tidak menjamin keberhasilan notifikasi *real-time* di lapisan atasnya (*webhook*), sebuah temuan yang memperkuat pentingnya pengujian *end-to-end* yang menyeluruh, bukan hanya pengujian kontrak secara terisolasi.
3. Ketiga, *Soulbound Token* (ERC-5192) berhasil diimplementasikan sebagai

mekanisme identitas kepegawaian digital yang non-transferable dan telah diverifikasi baik pada level kontrak (*unit test*) maupun pada level antarmuka verifikasi publik.

4. Keempat, integrasi *blockchain indexer* berbasis Ponder berhasil menyajikan data transaksi secara *real-time* kepada *frontend*, dengan temuan penting bahwa pendekatan *resinkronisasi* langsung dari kontrak terbukti lebih andal dibandingkan akumulasi aritmetika inkremental berbasis *event* untuk data finansial kritis.

Dari sisi kegunaan, sistem memperoleh skor System *Usability* Scale rata-rata 85,92 (kategori Excellent) dari 30 responden, jauh melampaui ambang keberhasilan minimum 68, dengan tingkat keberhasilan tugas 98,7%. Skor ini, didukung oleh temuan bahwa 46,7% responden tidak menyadari keberadaan teknologi *blockchain* di balik aplikasi sebelum diberi tahu, membuktikan bahwa kombinasi *Account abstraction*, *embedded wallet* berbasis surel, dan terminologi antarmuka yang familiar mampu memitigasi hambatan adopsi teknis yang menjadi akar rumusan masalah penelitian ini.

6.2. Saran

Berdasarkan keterbatasan yang telah diuraikan, berikut adalah saran bagi pengembangan dan penelitian lanjutan.

1. Pertama, optimasi performa *backend* pada skala produksi. *Endpoint* yang melibatkan verifikasi JWT dan kueri basis data langsung belum memenuhi target 500 milidetik P99 pada beban 100 pengguna konkuren dalam konfigurasi single-instance. Pengembangan lanjutan disarankan menerapkan horizontal scaling, connection pooling, dan *caching* sesi sebelum sistem diuji pada skala target produksi.
2. Kedua, pelibatan tim pengujian independen. Karena pengujian fungsional dan kegunaan pada penelitian ini dilaksanakan oleh satu peneliti yang merangkap seluruh peran, penelitian lanjutan disarankan melibatkan tim quality assurance dan moderator *usability testing* yang independen dari tim pengembang, guna mengurangi potensi bias konfirmasi dan observasi.

3. Ketiga, pengujian skala lanjutan sebelum *deployment mainnet*. Simulasi operasional pada penelitian ini mencakup 30 karyawan; sebelum sistem dipertimbangkan untuk *deployment* pada jaringan utama dengan nilai aset nyata, diperlukan pengujian beban pada skala penuh (50 sampai 500 karyawan per perusahaan, dengan banyak perusahaan tenant sekaligus) untuk memvalidasi kapasitas RPC provider dan proyeksi biaya *Paymaster* secara empiris.
4. Keempat, audit keamanan independen. Mengingat sistem ini menangani dana penggajian dan pesangon riil pada tahap produksi, disarankan dilakukan audit keamanan *smart contract* oleh pihak ketiga independen sebelum *deployment mainnet*, mengingat sifat *smart contract* yang immutable setelah di-*deploy*.
5. Kelima, perluasan fungsionalitas di luar batasan penelitian ini. Beberapa kebutuhan yang secara sengaja ditetapkan di luar ruang lingkup penelitian, antara lain integrasi HRIS pihak ketiga, fiat on/off ramp langsung dalam platform, *payroll* multi-chain, mekanisme perlindungan kerahasiaan data gaji *on-chain*, dan notifikasi push mobile native, dapat menjadi arah pengembangan lanjutan yang relevan, khususnya bagi penelitian yang berorientasi pada kesiapan produk.
6. Keenam, penguatan observability lapisan *indexer*. Temuan penyimpangan data agregat pada penelitian ini menunjukkan perlunya mekanisme pengecekan konsistensi otomatis antara data *indexer* dan *state on-chain* yang berjalan secara berkala, agar penyimpangan serupa dapat terdeteksi lebih dini pada tahap operasional.
7. Ketujuh, mitigasi risiko ketergantungan *stablecoin* tunggal. Mengingat seluruh alur nilai pada penelitian ini bergantung pada satu *stablecoin* (IDRX), pengembangan lanjutan disarankan mengevaluasi dukungan multi-*stablecoin* atau mekanisme *circuit breaker* otomatis yang dipicu oleh penyimpangan harga *on-chain* (misalnya melalui *oracle* Chainlink), untuk membatasi eksposur sistem apabila *stablecoin* acuan mengalami depeg signifikan.

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Meenugu, "The technical evolution of payroll systems: From manual processing to intelligent automation," *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, vol. 23, no. 1, pp. 201–208, 2025. doi: 10.30574/gjeta.2025.23.1.0103.

[2] G. Parker and C. D. Parker, "Reimagining Payroll: How Stablecoins and Blockchain Infrastructure Enable Real-Time Compensation," *SSRN Electronic Journal*, 2025. doi: 10.2139/ssrn.5252778.

[3] O. M. Faruk and M. K. Khan, "Blockchain-enabled BI for HR and payroll systems: Securing sensitive workforce data," *American Journal of Scholarly Research and Innovation*, vol. 1, no. 2, pp. 30–58, 2022. doi: 10.63125/et4bhy15.

[4] M. M. Ahmed and A. C. Shakir, "Review Study: Blockchain Application in Payroll System," *Al-Kitab Journal for Pure Sciences*, vol. 7, no. 1, pp. 83–99, 2023. doi: 10.32441/kjps.07.01.p8.

[5] R. Lamberty, D. Kirste, and A. Poddey, "Programmable payments for industry 4.0: a state channel-based trigger solution," *Frontiers in Blockchain*, vol. 8, p. 1563960, 2025. doi: 10.3389/fbloc.2025.1563960.

[6] S. Verma, "Smart contracts for compensation automation: Blockchain integration with workday," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 26, no. 2, pp. 1013–1021, 2025. doi: 10.30574/wjarr.2025.26.2.1640.

[7] G. Y. Liao and J. Caramichael, "Stablecoins: Growth Potential and Impact on Banking," *International Finance Discussion Papers*, no. 1334, Board of Governors of the Federal Reserve System, 2022. doi: 10.17016/ifdp.2022.1334.

[8] M. Aquilina, G. Cornelli, J. Frost, and L. Gambacorta, "Cryptocurrencies and decentralised finance: functions and financial stability implications," *BIS Papers*, No. 156, Bank for International Settlements, 2025. ISSN: 1682-7651, ISBN: 978-92-9259-851-8.

[9] Superfluid, "What is Superfluid: Money Streaming Documentation," Superfluid *Docs*, 2021. [Online]. Available: https://docs.superfluid.org/docs/concepts/superfluid. [Accessed: 16-Apr-2026].

[10] Sablier Labs, "Streaming: Sablier Docs," Sablier *Docs*, 2019. [Online]. Available: https://docs.sablier.com/concepts/protocol/streaming. [Accessed: 8-Apr-2026].

[11] G. Wood, "Ethereum: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger," Ethereum *Project Yellow Paper*, vol. 151, pp. 1–32, 2014.

[12] F. Vogelsteller and V. Buterin, "ERC-20: Token Standard," Ethereum *Improvement Proposals*, no. 20, 2015. [Online]. Available: https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-20. [Accessed: 4-Apr-2026].

[13] V. Buterin, Y. Weiss, D. Tirosh, S. Nacson, A. Forshtat, K. Gazso, and T. Hess, "ERC-4337: Account Abstraction Using Alt Mempool," Ethereum *Improvement Proposals*, no. 4337, 2021. [Online]. Available: https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-4337. [Accessed: 24-Apr-2026].

[14] Anders and T. Daubenschütz, "ERC-5192: Minimal Soulbound NFTs," Ethereum *Improvement Proposals*, no. 5192, 2022. [Online]. Available: https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-5192. [Accessed: 12-Apr-2026].

[15] J. Brooke, "SUS: A 'quick and dirty' usability scale," in *Usability Evaluation in Industry*, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, and I. L. McClelland, Eds. London, U.K.: Taylor & Francis, 1996, pp. 189–194.

[16] A. Bangor, P. T. Kortum, and J. T. Miller, "Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale," *Journal of Usability Studies*, vol. 4, no. 3, pp. 114–123, 2009.

[17] Kementerian Keuangan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Keuangan Nomor 168 Tahun 2023 tentang Pemotongan Pajak Penghasilan Pasal 21 dan/atau Pasal 26 Sehubungan dengan Pekerjaan, Jasa, atau Kegiatan Orang Pribadi," 2023. [Online]. Available: https://pajak.go.id/sites/default/files/2024-02/PMK%20168%20Tahun%202023%20Tentang%20PPh%20Pasal%2021%20TER.pdf. [Accessed: 1-Apr-2026].

[18] L. Santioso, A. Salim, and Marcello, "Perhitungan PPh 21 Menggunakan Tarif Efektif Rata-Rata (TER) Sesuai PP Nomor 58 Tahun 2023," *Jurnal Serina Abdimas*, vol. 2, no. 3, 2024. doi: 10.24912/jsa.v2i3.31901.

[19] Pemerintah Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021 tentang Perjanjian Kerja Waktu Tertentu, Alih Daya, Waktu Kerja dan Waktu Istirahat, dan Pemutusan Hubungan Kerja," 2021.

[20] Z. M. Utama, E. Rosikan, E. Yunior, and D. H. M. Remember, "Pemberian Uang Pesangon Terhadap Pemutusan Hubungan Kerja di Perusahaan," *Jurnal Inovasi Akuntansi dan Manajemen Bisnis*, vol. 9, no. 3, 2025.

[21] H. Rezaei, M. Eshghie, K. Andersson, and F. Palmieri, "SoK: Root Cause of $1 Billion Loss in Smart Contract Real-World Attacks via a Systematic Literature Review of Vulnerabilities," arXiv:2507.20175, 2025.

[22] Q. Wang and S. Chen, "Account Abstraction, Analysed," arXiv:2309.00448, 2023.

[23] A. P. Kalapaaking, I. Khalil, M. S. Rahman, and A. Bouras, "Blockchain-based Access Control for Secure Smart Industry Management Systems," in Network and System Security: 16th International Conference, NSS 2022, Denarau Island, Fiji, 2022. arXiv:2304.13379.

[24] R. Huang, J. Chen, Y. Wang, T. Bi, and Z. Zheng, "An overview of Web3.0 Technology: Infrastructure, Applications, and Popularity," arXiv:2305.00427, 2023.

[25] E. Jiang, B. Qin, Q. Wang, Z. Wang, Q. Wu, J. Weng, X. Li, C. Wang, Y. Ding, and Y. Zhang, "Decentralized Finance (DeFi): A Survey," arXiv:2308.05282, 2023.

[26] Ethereum Foundation, "Ethereum Wallets," ethereum.org, 2024. [Online].

Available: https://ethereum.org/en/wallets/. [Accessed: 21-Jun-2026].

[27] R. Yang, T. Murray, P. Rimba, and U. Parampalli, "Empirically Analyzing Ethereum's Gas Mechanism," arXiv:1905.00553, 2019.

[28] Privy, "Privy Documentation," 2024. [Online]. Available: https://docs.privy.io/welcome. [Accessed: 21-Jun-2026].

[29] Pimlico, "Pimlico Documentation," 2024. [Online]. Available: https://docs.pimlico.io/. [Accessed: 22-Jun-2026].

[30] R. T. Fielding, "Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures," Ph.D. dissertation, Univ. of California, Irvine, 2000.

[31] M. Jones, J. Bradley, and N. Sakimura, "JSON Web Token (JWT)," RFC 7519, IETF, 2015. [Online]. Available: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7519. [Accessed: 21-Jun-2026].

[32] Solidity Documentation, "Contract ABI Specification," Ethereum Foundation, 2024. [Online]. Available: https://docs.soliditylang.org/en/latest/abi-spec.html. [Accessed: 15-Jun-2026].

[33] Vercel, "Next.js Documentation," 2024. [Online]. Available: https://nextjs.org/docs. [Accessed: 26-Jun-2026].

[34] OpenJS Foundation, "Express.js Documentation," 2024. [Online]. Available: https://expressjs.com/. [Accessed: 4-Jun-2026].

[35] Drizzle Team, "Drizzle ORM Documentation," 2024. [Online]. Available: https://orm.drizzle.team/. [Accessed: 27-Jun-2026].

[36] PostgreSQL Global Development Group, "PostgreSQL Documentation," 2024. [Online]. Available: https://www.postgresql.org/docs/. [Accessed: 6-Jun-2026].

[37] Microsoft, "TypeScript Documentation," 2024. [Online]. Available: https://www.typescriptlang.org/docs/. [Accessed: 25-Jun-2026].

[38] Meta, "React Documentation," 2024. [Online]. Available: https://react.dev/. [Accessed: 20-Jun-2026].

[39] Tailwind Labs, "Tailwind CSS Documentation," 2024. [Online]. Available: https://tailwindcss.com/docs. [Accessed: 24-Jun-2026].

[40] shadcn, "shadcn/ui Documentation," 2024. [Online]. Available:

https://ui.shadcn.com/. [Accessed: 9-Jun-2026].
[41] Uniswap Labs, "Subgraphs Overview," Uniswap Developer Documentation, 2024. [Online]. Available: https://developers.uniswap.org/docs/ecosystem/subgraphs/overview. [Accessed: 17-Jun-2026].
[42] Aave, "Aave V3 Overview," Aave Protocol Documentation, 2024. [Online]. Available: https://aave.com/docs/aave-v3/overview. [Accessed: 25-Jun-2026].

LAMPIRAN

A. Skenario Pengujian *Usability* Testing

Sebelum sesi pengujian dilaksanakan, peneliti menyiapkan 30 alamat *wallet* (dibuat melalui MetaMask) yang masing-masing telah diasosiasikan di muka dengan akun karyawan pada sistem, sebagai bagian dari *environment* setup, bukan sebagai bagian dari tugas yang dikerjakan responden. Penyediaan alamat *wallet* secara terpisah ini diperlukan karena setiap karyawan pada sistem Payana tetap memerlukan satu alamat *on-chain* sebagai identitas penerima dana (*address* yang menerima *streaming payment* dan menjadi pemilik *Soulbound Token*), sehingga proses provisioning data uji tetap membutuhkan alamat *wallet* riil di jaringan Base Sepolia. Akan tetapi, alamat *wallet* tersebut sepenuhnya disembunyikan dari responden selama sesi pengujian: responden hanya berinteraksi dengan alur pendaftaran dan masuk (*login*) berbasis alamat surel (email) melalui Privy *embedded wallet*, tanpa pernah melihat, menyalin, atau mengelola alamat *wallet* maupun *seed phrase* secara langsung. Pemisahan ini disengaja agar sesi pengujian kegunaan tetap fokus mengukur pengalaman pengguna akhir yang sebenarnya, dan agar durasi sesi tidak melebar ke luar cakupan pengujian akibat responden harus diajari cara kerja *wallet non-custodial* terlebih dahulu.

Setiap responden menyelesaikan lima skenario tugas terstruktur sesuai perannya. Peneliti mengobservasi langsung setiap langkah rinci pada tiap skenario dan mencatat hasilnya pada lembar observasi (berhasil mandiri, berhasil dengan bantuan, atau gagal), beserta waktu penyelesaian dan catatan bantuan/error yang terjadi pada langkah mana pun dalam tugas tersebut. Setiap tugas disajikan pada tabel tersendiri berikut ini.

A.1 Skenario Tugas untuk Responden Karyawan

Tabel L.1. **Skenario Tugas Karyawan: Masuk ke aplikasi (*login*) dan mengamati saldo berjalan**

Tugas: Masuk ke aplikasi (*login*) dan mengamati saldo berjalan	
Langkah	Deskripsi yang Diobservasi

1	Responden membuka tautan aplikasi pada perangkat yang disediakan.
2	Responden memasukkan alamat surel (email) yang telah didaftarkan sebelumnya oleh peneliti, tanpa diberi tahu istilah "*wallet*" atau "dompet digital".
3	Responden memasukkan kode OTP yang diterima melalui email (proses Privy *embedded wallet* berjalan otomatis di latar belakang, transparan bagi responden).
4	Responden diarahkan ke halaman utama dan diminta mengamati angka saldo "Akun Gaji" yang bertambah secara otomatis (*real-time*) tanpa melakukan aksi apa pun.

Tabel L.2. **Skenario Tugas Karyawan: Menarik gaji (klaim EWA)**

Tugas: Menarik gaji (klaim EWA)	
Langkah	Deskripsi yang Diobservasi
1	Responden menemukan dan menekan tombol "Tarik Gaji" pada halaman utama.
2	Responden memasukkan nominal yang ingin ditarik (sampai batas saldo tersedia).
3	Responden mengonfirmasi penarikan tanpa diminta membayar biaya gas atau biaya tambahan apa pun.
4	Responden mengamati notifikasi

	keberhasilan dan perubahan saldo secara *real-time*.

Tabel L.3. **Skenario Tugas Karyawan: Mengajukan kasbon (salary advance) dan memantau statusnya**

Tugas: Mengajukan kasbon (salary advance) dan memantau statusnya	
Langkah	Deskripsi yang Diobservasi
1	Responden menemukan menu pengajuan kasbon pada aplikasi.
2	Responden memasukkan nominal kasbon yang diajukan.
3	Responden mengirimkan pengajuan dan diminta menjelaskan dengan kata-katanya sendiri apa yang baru saja terjadi (untuk mengukur pemahaman istilah "kasbon").
4	Responden memantau status pengajuan (menunggu persetujuan HR) pada halaman status.

Tabel L.4. **Skenario Tugas Karyawan: Melihat dan mencetak slip gaji digital**

Tugas: Melihat dan mencetak slip gaji digital	
Langkah	Deskripsi yang Diobservasi
1	Responden menemukan menu riwayat atau slip gaji.
2	Responden membuka slip gaji dari klaim terakhir yang telah dilakukan.
3	Responden mengunduh atau mencetak (export PDF) slip gaji tersebut.

Tabel L.5. **Skenario Tugas Karyawan: Mengajukan permintaan surat keterangan kerja**

Tugas: Mengajukan permintaan surat keterangan kerja

Langkah	Deskripsi yang Diobservasi
1	Responden menemukan menu permintaan dokumen atau surat keterangan kerja.
2	Responden memilih keperluan surat (misalnya untuk pengajuan KPR).
3	Responden mengirimkan permintaan dan diberi tahu bahwa dokumen akan diverifikasi melalui *Soulbound Token* tanpa perlu memahami istilah tersebut.

A.2 Skenario Tugas untuk Responden HR Admin

Tabel L.6. **Skenario Tugas HR Admin: Menambahkan karyawan baru dan memulai aliran gaji (*stream*)**

Tugas: Menambahkan karyawan baru dan memulai aliran gaji (*stream*)	
Langkah	Deskripsi yang Diobservasi
1	Responden (berperan HR) masuk ke portal HR melalui email terdaftar (proses identik dengan alur karyawan, tanpa *wallet*).
2	Responden menambahkan data karyawan baru ke dalam sistem.
3	Responden mengatur besaran gaji bulanan dan mengaktifkan aliran gaji (*stream*) untuk karyawan tersebut.

Tabel L.7. **Skenario Tugas HR Admin: Meninjau dan menyetujui pengajuan kasbon**

Tugas: Meninjau dan menyetujui pengajuan kasbon	
Langkah	Deskripsi yang Diobservasi
1	Responden membuka daftar pengajuan kasbon yang berstatus menunggu

	persetujuan.
2	Responden meninjau nominal dan alasan pengajuan salah satu karyawan.
3	Responden menyetujui pengajuan dan mengamati perubahan status secara *real-time*.

Tabel L.8. **Skenario Tugas HR Admin: Meninjau dan menyetujui klaim *reimburse* karyawan**

Tugas: Meninjau dan menyetujui klaim *reimburse* karyawan	
Langkah	Deskripsi yang Diobservasi
1	Responden membuka daftar klaim *reimburse* yang masuk dari karyawan.
2	Responden meninjau nominal dan bukti klaim *reimburse* salah satu karyawan.
3	Responden menyetujui klaim tersebut dan mengamati konfirmasi persetujuan.

Tabel L.9. **Skenario Tugas HR Admin: Membuat *bounty*/tugas baru dengan imbalan IDRX**

Tugas: Membuat *bounty*/tugas baru dengan imbalan IDRX	
Langkah	Deskripsi yang Diobservasi
1	Responden membuka menu *bounty*/tugas.
2	Responden membuat entri *bounty* baru beserta deskripsi tugas dan nominal imbalan dalam IDRX.
3	Responden mempublikasikan *bounty* tersebut agar dapat dilihat karyawan.

Tabel L.10. **Skenario Tugas HR Admin: Melihat direktori karyawan dan mengatur**

departemen/posisi

Tugas: Melihat direktori karyawan dan mengatur departemen/posisi	
Langkah	Deskripsi yang Diobservasi
1	Responden membuka menu direktori karyawan.
2	Responden memilih salah satu karyawan dari daftar direktori.
3	Responden mengatur atau memperbarui departemen dan posisi karyawan tersebut.

B. Matriks Keterkaitan Tujuan Penelitian dengan Bukti Pengujian

Tabel berikut merangkum keterkaitan eksplisit antara setiap klaim keberhasilan pada Subbab 5.3 (Pembahasan) dengan bukti pengujian kuantitatif yang mendasarinya, agar setiap pernyataan capaian dapat ditelusuri langsung ke data sumbernya.

Tabel L.11. **Matriks Keterkaitan Tujuan Penelitian, Kelas Uji, dan Hasil**

Tujuan/Klaim	Kelas Uji Terkait	Jumlah Butir Uji	Status	Temuan Kunci Pendukung
Arsitektur *smart contract* mengotomasi penggajian dan *streaming payment* secara aman	KU-03 s.d. KU-10	28	Handal 100%	Simulasi operasional 30 karyawan di Base Sepolia; tidak ditemukan celah *reentrancy* pada seluruh fungsi yang diuji.
Account	KU-05	5	Handal	Cacat *topic hash webhook* (7 vs

abstraction (ERC-4337) untuk transaksi *gasless*			100%	8 parameter *event* SalaryClaimed) ditemukan dan diperbaiki; diverifikasi *end-to-end* pasca-perbaikan.
Soulbound Token (ERC-5192) sebagai validasi identitas	KU-14	3	Handal 100%	Transfer non-transferable ditolak (SoulboundTransferNotAllowed); cacat ABI 3-output pada halaman */verify* ditemukan melalui klik antarmuka dan diperbaiki.
Blockchain indexer (Ponder) untuk data *real-time*	Seluruh KU (validasi silang data agregat)	96	Handal 100%	Penyimpangan vaultBalance sebesar sekitar 27,4 juta IDRX ditemukan dan diperbaiki melalui *resinkronisasi* langsung dari kontrak.
Deteksi anomali keamanan *vault* (*wallet* HR terkompromi)	KU-32	2	Handal (Run 3; Run 1/2 sempat BELUM Handal karena hipotesis *cold-start*)	Simulasi serangan nyata (attacker-sim.mjs) di Base Sepolia; alert SUSPICIOUS_WITHDRAWAL dan UNEXPECTED_ROLE_GRANT terdeteksi dalam 1 menit 40 detik pada Run 3, memenuhi ambang NFR-PAYANA-17 (tidak lebih dari 2 menit).
Mitigasi	*Usabilit*	150	98,7%	Skor SUS 85,92 (Excellent);

hambatan adopsi teknis (kegunaan sistem)	*y testing* (N=30)	percobaan tugas	berhasil	skor Web3-UX Comfort 85,56%; 46,7% responden (14/30) tidak menyadari penggunaan *blockchain* sebelum diberi tahu.

Rincian lengkap 98 butir uji fungsional (KU-01 sampai KU-29, dan KU-32) beserta status masing-masing didokumentasikan pada Bab IV dan Bab V laporan ini; Tabel 5.1 merangkum jumlah butir uji per kelompok kelas uji.