

**BLOCKCHAIN BERBASIS KEY-VALUE STORE UNTUK  
MENDUKUNG DYNAMIC SMART CONTRACT  
INTERACTION PADA SEKTOR AGRO-MARITIM**

**IRWANSYAH SAPUTRA  
G6601202021**

**KOMISI PEMBIMBING:**

**Prof. Dr. Ir. Yandra Arkeman., M.Eng.  
Prof. Dr. Indra Jaya, M.Sc.  
Irman Hermadi., S.Kom., MS., Ph.D.**



**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**



**SIDANG PROMOSI PROGRAM DOKTOR  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

Judul Disertasi : Blockchain Berbasis Key-Value Store untuk Mendukung  
Dynamic Smart Contract Interaction pada Sektor Agro-  
Maritim

Nama : Irwansyah Saputra

NIM : G6601202021

Program Studi : Ilmu Komputer

Komisi Pembimbing

Ketua : Prof. Dr. Ir. Yandra Arkeman., M.Eng.

Anggota : 1. Prof. Dr. Indra Jaya, M.Sc.  
2. Irman Hermadi., S.Kom., MS., Ph.D.

Ujian tertutup dilaksanakan pada:

Hari/ Tanggal : Rabu, 7 Februari 2024

Waktu : 13.00 s.d.16.00 WIB

Tempat : Ruang Sidang Departemen Ilmu Komputer FMIPA,  
IPB

Penguji Luar Komisi :

1. Dr. Shelvie Nidya Neyman, S.Kom., M.Si  
Dosen Departemen Ilmu Komputer FMIPA IPB
2. Wisnu Uriawan, S.T., M.Kom, Ph.D.  
Dosen Prodi Teknik Informatika UIN SGD

Sidang Promosi Doktor dilaksanakan pada:

Hari/ Tanggal : Senin, 26 Februari 2024

Waktu : 13.00 WIB - Selesai

Tempat : R. S.Ps.

Promotor Luar Komisi :

1. Dr. Shelvie Nidya Neyman, S.Kom., M.Si  
Dosen Departemen Ilmu Komputer FMIPA IPB
2. Wisnu Uriawan, S.T., M.Kom, Ph.D.  
Dosen Prodi Teknik Informatika UIN SGD

## RINGKASAN

IRWANSYAH SAPUTRA. Blockchain Berbasis Key-Value Store untuk Mendukung Dynamic Smart Contract Interaction pada Sektor Agro-Maritim. Dibimbing oleh YANDRA ARKEMAN, INDRA JAYA dan IRMAN HERMADI.

Penerapan teknologi *blockchain* dalam sektor agro-maritim, khususnya dalam rantai pasokan produk ikan dan kopi, menawarkan transparansi dan jejak data yang signifikan. Sektor ini menghadapi berbagai isu, seperti degradasi kualitas, kekurangan informasi yang jelas, dan ketidakadilan sosioekonomi bagi para pihak yang berkepentingan. *Static Smart contract* (SSC) pada *blockchain* menyediakan metode terstruktur dalam menjalankan perjanjian namun menghadirkan keterbatasan yang menghambat fleksibilitas dan responsivitas terhadap perubahan dinamis dalam rantai pasokan. Meski memiliki keterbatasan, *blockchain* tetap menjadi teknologi berharga dalam menjaga transparansi, keterlacakan, dan integritas transaksi, aspek-aspek yang vital dalam sektor agro-maritim. Studi ini berfokus pada pengembangan *smart contract* yang lebih dinamis dan responsif untuk mengatasi masalah tersebut. AniraBlock diperkenalkan sebagai solusi yang berpotensi merevolusi rantai pasokan pertanian, dengan spesialisasi pada komoditas ikan dan kopi, melalui pengenalan *dynamic smart contract* (DSC) berdasarkan kerangka kerja *key-value store*. DSC menawarkan adaptabilitas dan skalabilitas yang lebih meluas dibandingkan dengan SSC, dengan demikian DSC dapat mengatasi keterbatasan-keterbatasan yang terdapat pada SSC. Untuk memperkuat kapabilitas DSC dalam menangani kompleksitas dan volume transaksi yang meningkat, *Smart Contract Interaction* (SCI) diintegrasikan ke dalam AniraBlock sehingga disebut dengan *dynamic smart contract interaction* (DSCI), memungkinkan otomatisasi dan koordinasi yang lebih canggih antara berbagai *smart contract* yang terlibat. DSCI memfasilitasi interaksi antara *smart contract* dengan cara yang lebih efisien, mengurangi *overhead* dan mempercepat eksekusi transaksi, sambil mempertahankan keamanan dan transparansi yang diperlukan. Pendekatan metode kombinasi antara kualitatif dan kuantitatif digunakan dalam studi ini untuk melakukan validasi terkait efektivitas AniraBlock berbasis DSCI. Hasil awal menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam pengelolaan data, transparansi rantai pasokan, dan kemampuan adaptasi sistem terhadap perubahan kondisi pasar, menunjukkan bahwa kerangka kerja yang diajukan dengan DSCI memiliki potensi untuk memberikan dampak yang signifikan dalam meningkatkan integritas data dan efisiensi operasional di sektor agro-maritim.

Kata kunci: *blockchain*, ikan, rantai pasok, kopi, *smart contract* dinamis, *smart contract interaction*

## SUMMARY

IRWANSYAH SAPUTRA. Key-Value Store-Based Blockchain to Support Dynamic Smart Contract Interaction in the Agricultural Sector. Mentored by YANDRA ARKEMAN, INDRA JAYA dan IRMAN HERMADI.

The application of blockchain technology in the agricultural sector, particularly in the supply chains of fish and coffee products, offers significant transparency and data footprint. The sector faces issues such as quality degradation, lack of clear information, and socioeconomic injustice for stakeholders. Static Smart contracts (SSC) on the blockchain provide a structured method of executing agreements but present limitations that hamper flexibility and responsiveness to dynamic changes in the supply chain. Despite its limitations, blockchain remains a valuable technology in maintaining transparency, traceability, and transaction integrity, aspects that are vital in the agricultural sector. This study focuses on developing more dynamic and responsive smart contracts to address these issues. AniraBlock is introduced as a solution that has the potential to revolutionize the agricultural supply chain, specializing in fish and coffee commodities, through the introduction of dynamic smart contracts (DSC) based on the key-value store framework. DSC offers wider adaptability and scalability compared to SSC, thus DSC can overcome the limitations of SSC. To strengthen the capability of DSC to handle the increasing complexity and volume of transactions, Smart Contract Interaction (SCI) is integrated into AniraBlock called dynamic smart contract interaction (DSCI), enabling more sophisticated automation and coordination between the various smart contracts involved. DSCI facilitates interaction between smart contracts in a more efficient manner, reducing overhead and speeding up transaction execution, while maintaining the necessary security and transparency. A mixed-method approach of qualitative and quantitative was used in this study to validate the effectiveness of DSCI-based AniraBlock. Preliminary results show significant improvements in data management, supply chain transparency, and system adaptability to changing market conditions, suggesting that the proposed framework with DSCI has the potential to make a significant impact in improving data integrity and operational efficiency in the agricultural sector.

Keywords: blockchain, coffee, dynamic smart contract, fish, smart contract interaction, supply chain

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2020 sampai bulan Februari 2024 ini ialah teknologi blockchain, dengan judul “Blockchain Berbasis Key-Value Store untuk Mendukung Dynamic Smart Contract Interaction pada Sektor Agro-Maritim”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Yandra Arkeman., M.Eng, Prof. Dr. Indra Jaya, M.Sc , dan Irman Hermadi., S.Kom., MS., Ph.D yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya selama penulis menempuh studi doktoral ini. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada teman seperjuangan angkatan 3 yang selalu semangat dalam menempuh studi.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Februari 2024

Irwansyah Saputra

# DAFTAR ISI

I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	5
1.3	Tujuan	5
1.4	Manfaat	6
1.5	Ruang Lingkup	6
1.6	Kebaruan ( <i>novelty</i> )	6
II	METODE	8
2.1	Kerangka Pemikiran Penelitian	8
2.2	Tahapan Penelitian	10
2.3	Waktu dan Tempat Penelitian	11
III	HASIL DAN PEMBAHASAN	12
3.1	Identifikasi Masalah	12
3.2	Pemahaman Konteks	12
3.3	Desain Penelitian	13
3.4	Desain Prototipe	14
3.5	Implementasi Model DSCI yang Diusulkan	21
3.6	Pengujian Prototipe	28
3.7	Evaluasi Prototipe	32
IV	SIMPULAN DAN SARAN	35
4.1	Simpulan	35
4.2	Saran	35
	DAFTAR PUSTAKA	36
	RIWAYAT HIDUP	41



# I PENDAHULUAN

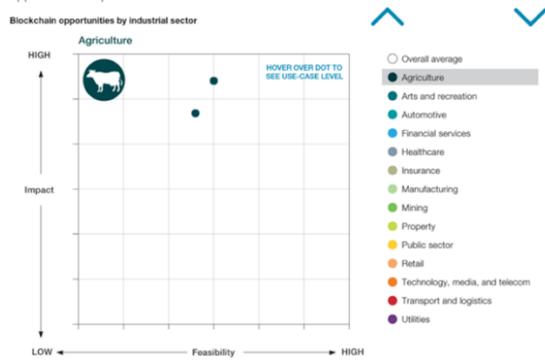
## 1.1 Latar Belakang

*Blockchain* adalah teknologi yang dapat memberikan keamanan dan transparansi untuk transaksi digital (Ehsan *et al.* 2022). Teknologi ini diperkenalkan oleh Satoshi Nakamoto pada tahun 2008 melalui mata uang kripto *bitcoin* (Gopi *et al.* 2019). Teknologi ini merupakan sistem yang bersifat desentralisasi, yaitu sistem yang tidak terpusat (Salah *et al.* 2019). Sifat tersebut membuat *blockchain* menjadi sebuah teknologi yang memiliki kesetaraan antar entitas dalam sebuah sistem (Branco *et al.* 2019). Sifat tersebut juga memungkinkan semua anggota dalam jaringan *blockchain* dapat berinteraksi dengan aman tanpa memerlukan otoritas terpercaya (Dutta *et al.* 2020). Selain itu, desentralisasi dapat dimanfaatkan untuk transparansi dan keterlacakan data bagi setiap entitas dalam sistem (Iqbal dan Butt 2020).

Sistem ini dapat melakukan pembaharuan data yang terdistribusi, memiliki rantai blok untuk memverifikasi dan menyimpan data, serta menggunakan algoritma enkripsi untuk keamanan data yang tersimpan di dalamnya (Zhaoliang *et al.* 2021). Ada beberapa karakteristik unik dari *blockchain* yang menjadikannya sebagai peluang menjanjikan di masa depan seperti terdesentralisasi, transparan, tidak dapat diubah, memiliki otonomi, sumber terbuka, anonimitas, kepemilikan, keunikan dan setiap produk memiliki dokumen catatan digital di *blockchain* yang dapat membuktikan keaslian dan asal mulanya (Li *et al.* 2020).

*Blockchain* sering diidentikkan dengan *bitcoin*, padahal teknologi *blockchain* dapat digunakan dalam berbagai bidang lainnya seperti keuangan, transportasi, pendidikan, logistik, kesehatan, asuransi, ritel, dan pertanian. Dalam sektor agro-maritim, *blockchain* dimanfaatkan untuk pertanian presisi yang dapat melacak ketertelusuran produk secara efisien (Iqbal dan Butt 2020).

Tinjauan penggunaan teknologi *blockchain* semakin meningkat pada bidang pertanian dan pangan, bahkan upaya pengembangan teknologi ini pada bidang tersebut dilakukan lebih banyak oleh negara-negara berkembang seperti India, China dan Indonesia (Niknejad *et al.* 2021). Para peneliti dari berbagai negara mulai menyadari pentingnya pertanian cerdas berbasis data untuk mencapai pertanian presisi dan berkeadilan, tidak hanya mempertimbangkan aspek teknologi namun juga memperhatikan masalah sosial, lingkungan dan ekonomi (Kamble *et al.* 2020) seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Peluang *blockchain* di sektor agrikultur (Carson *et al.* 2018)

Sektor agro-maritim memerlukan rantai pasok untuk mendistribusikan hasil produknya (Dutta *et al.* 2020). Dalam rantai pasok, entitas yang terlibat bukan hanya pabrik dan pemasok namun juga entitas lain seperti pengangkut, gudang, pengecer bahkan pelanggan konsumen tingkat akhir (Chopra dan Shukla 2022). Secara sederhana, rantai pasok adalah kegiatan mendistribusikan suatu produk dari mulai diproduksi hingga berada di meja makan konsumen (Malta *et al.* 2018). Terdapat berbagai isu yang terjadi pada manajemen rantai pasok seperti tidak utuhnya informasi yang dimiliki oleh setiap entitas di dalam jaringan, kecurangan dalam pelabelan kemasan, tidak akurat antara *supply and demand*, ketertelusuran asal produk, dan minimalnya informasi yang dimiliki oleh konsumen. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah ini adalah teknologi *Blockchain* (Iqbal dan Butt 2020).

Dalam sektor agro-maritim, degradasi kualitas produk akibat praktik pertanian yang tidak berkelanjutan, penggunaan pestisida dan bahan kimia berlebihan, serta dampak perubahan iklim, telah menjadi isu yang meresahkan (Koné dan Galiegue 2023). Hal ini tidak hanya berdampak pada pendapatan petani, tetapi juga menimbulkan risiko kesehatan bagi konsumen dan mengurangi kepercayaan pasar. Selain itu, kekurangan informasi yang akurat dan tepat waktu dalam rantai pasokan pertanian sering kali menyebabkan ketidakpastian dan inefisiensi, mengakibatkan pemborosan sumber daya dan kerugian ekonomi (Gu dan Yu 2022)(El Amine dan Lamia 2023). Isu ini diperparah oleh ketidakadilan sosioekonomi yang dihadapi oleh petani kecil dan menengah, yang sering kali menghadapi kesulitan dalam mengakses pasar, teknologi, dan sumber daya keuangan, menyebabkan mereka menerima bagian yang lebih kecil dari keuntungan rantai pasokan (Tafesse *et al.* 2023)(Xie *et al.* 2021). Ketiga isu ini menyoroti kebutuhan mendesak akan solusi yang dapat meningkatkan kualitas, transparansi, dan keadilan dalam sektor agro-maritim.

Berbagai aktivitas rantai pasok telah menggunakan teknologi *blockchain* sebagai solusinya seperti pertanian jamur dengan IoT yang diintegrasikan dengan *blockchain* sehingga dapat mengumpulkan data terdistribusi sekaligus mengontrol dalam proses produksinya (Branco *et al.* 2019), pemantauan

keadaan sapi perah serta pakan biji-bijian secara *real time* dengan penerapan IoT, *Edge Computing*, kecerdasan buatan, dan teknik *blockchain* di lingkungan pertanian cerdas untuk memastikan keterlacakan yang berkelanjutan di dalam produksi (Alonso *et al.* 2020), penerapan teknologi *blockchain* untuk memungkinkan ketertelusuran domain pertanian dan pangan (*agri-food*) (Neethirajan dan Kemp 2021), penggunaan teknologi *blockchain* pada perkebunan kelapa sawit, manufaktur dan manajemen rantai pasokan produk kelapa sawit yang dapat dimakan seperti kelapa sawit dan gula aren untuk memfasilitasi perkembangan palmpreneur yang dinamis (Malarvizhi 2019), serta simulasi produksi sayuran organik dan lingkungan pemasaran menggunakan teknologi *blockchain* untuk memastikan keaslian catatan produksi dan penjualan, dapat meningkatkan penjualan sayuran organik dan memecahkan masalah pencemaran lingkungan ekologi pertanian di dunia nyata (Shih *et al.* 2019).

Ikan dan produk olahannya merupakan salah satu sumber makanan yang tinggi protein dan banyak dikonsumsi masyarakat global (Patro *et al.* 2022). Indonesia menduduki posisi ke dua setelah China sebagai negara penghasil produk perikanan terbesar di dunia dengan total produksi mencapai 24 juta ton per tahun (Larissa dan Parung 2021). Namun, terdapat beberapa masalah yang sering terjadi di dalam industri tersebut, seperti kualitas ikan yang mudah rusak selama proses pengangkutan dan penyimpanan (Patro *et al.* 2022). Selain itu, masalah transparansi dalam industri perikanan juga sering terjadi seperti informasi tentang asal dan kondisi ikan yang dijual tidak selalu dapat diakses oleh para pembeli, sehingga aktivitas pemalsuan informasi tentang asal atau kondisi ikan yang dijual kerap kali terjadi (Cao *et al.* 2021). Masalah lain yang juga terjadi pada komoditas ini adalah para nelayan yang sering kali tidak mendapatkan imbalan yang sesuai atas hasil kerja mereka (Lozano *et al.* 2022). Selain komoditas perikanan, menurut *International Coffee Organization* (ICO), kopi merupakan salah satu produk agrikultur yang paling banyak dikonsumsi dan diperdagangkan di dunia (Payan *et al.* 2022). Proses produksi kopi melibatkan banyak tahapan, mulai dari penanaman biji kopi hingga pengolahan dan pemasaran (Murthy dan Naidu 2012). Namun, ada beberapa masalah yang sering terjadi dalam rantai pasok kopi, seperti adanya kejahatan perdagangan gelap, penipuan harga, dan ketidakadilan bagi para petani kopi (Keulen dan Kirchherr 2021). Selain itu, kopi juga memiliki umur simpan yang sangat rendah, memiliki biaya pemrosesan yang tinggi, dan pemrosesan umumnya dilakukan oleh rumah pemrosesan besar (Haldar dan Damodaran 2022). Teknologi *blockchain* dapat membantu mengatasi masalah-masalah tersebut dengan membuat sistem yang transparan dan terverifikasi secara otomatis (Rijanto 2021). Dengan menggunakan *blockchain*, para pelaku industri dapat melacak asal-usul produk dan memastikan bahwa harga yang diterima oleh petani atau nelayan sesuai dengan nilai sebenarnya (Saurabh dan Dey 2021). Selain itu, *blockchain* juga dapat membantu mengurangi kejahatan perdagangan gelap dan penipuan harga dengan menyediakan catatan yang

dapat dipercaya mengenai transaksi-transaksi yang terjadi (Garrard dan Fielke 2020).

Walaupun *blockchain* menjadi solusi yang dapat menyelesaikan berbagai permasalahan tersebut, terdapat tantangan lainnya ketika dua komoditas tersebut menggunakan teknologi ini. Rantai pasok dinamis seperti dalam kasus ikan dan kopi membutuhkan fleksibilitas yang tidak disediakan oleh SSC. Kekakuan parameter dan aturan dalam SSC dapat menghambat adaptasi cepat terhadap perubahan harga, volume, atau kondisi pasar (Liu *et al.* 2019). Kurangnya fleksibilitas ini juga menjadi hambatan ketika ada perubahan dalam struktur bisnis atau proses, seperti penambahan atau pengurangan aktor dalam rantai pasok (Chen *et al.* 2018).

Selain itu, penyelesaian sengketa dalam SSC biasanya memakan waktu dan sumber daya yang signifikan, terutama karena proses ini seringkali dilakukan secara manual. Kurangnya transparansi dalam proses ini juga bisa menjadi masalah (Dolgui *et al.* 2020). Kemudian, masalah lainnya adalah biaya transaksi tetap dalam SSC yang bisa menjadi beban bagi pengguna, serta kemampuan skalabilitas yang terbatas ketika menghadapi peningkatan volume transaksi atau penambahan aktor baru (Ghaffari *et al.* 2021).

Oleh karena itu, meski SSC relatif lebih sederhana untuk diimplementasikan, mereka memiliki keterbatasan dalam mendukung fitur yang lebih kompleks atau beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Keterbatasan ini dapat membatasi fleksibilitas dan kemampuan adaptasi dalam rantai pasok, sementara tingkat keamanan yang tinggi dari SSC tidak menghilangkan kerentanan mereka terhadap serangan tertentu. Sebagai respons terhadap tantangan ini, penggunaan DSC berbasis *key-value store* menawarkan solusi yang lebih canggih dan fleksibel. Berbeda dari *smart contracts* tradisional, DSC dirancang untuk beradaptasi dengan kondisi yang berubah, memungkinkan penyesuaian otomatis terhadap variabel seperti kondisi pasar dan faktor lingkungan. Fleksibilitas ini sangat relevan dalam sektor agro-maritim, yang sering kali menghadapi ketidakpastian dan memerlukan respons cepat, terutama dalam pengelolaan komoditas kopi dan ikan.

DSC memungkinkan integrasi dan koordinasi yang lebih efisien antara berbagai entitas dalam rantai pasok, mulai dari produsen hingga konsumen. Dengan kemampuan untuk secara dinamis mengubah aturan atau parameter berdasarkan data *real-time*, DSC dapat meningkatkan ketepatan dan efisiensi dalam pengelolaan sumber daya, distribusi produk, dan pemenuhan kebutuhan pasar. Selain itu, penggunaan *key-value store* dalam DSC memudahkan pengelolaan data yang setiap elemennya dapat diakses atau dimodifikasi dengan cepat dan aman. Hal ini memungkinkan para pelaku di sektor agro-maritim untuk mengelola informasi tentang produk, seperti asal, kualitas, dan pergerakan produk, dengan lebih transparan dan akurat.

Integrasi *Smart Contract Interaction* (SCI) dengan DSC memperluas kemampuan ini, memungkinkan berbagai *smart contracts* untuk

berkomunikasi dan berinteraksi secara otomatis dan efisien. *Key-value store* memfasilitasi akses dan modifikasi data dengan mudah, dengan setiap data memiliki pasangan *key* dan *value* (Sonbol *et al.* 2020). SCI mengambil langkah lebih lanjut dengan mengkoordinasikan dan mengotomatisasi proses yang melibatkan berbagai *smart contract*, meningkatkan efisiensi dan transparansi dalam pengelolaan rantai pasok. Penggunaan *key-value* memungkinkan pengguna untuk menambah, menghapus, atau memodifikasi data pada *smart contract* dengan mudah, tanpa perlu mengubah kode program utama. SCI meningkatkan proses ini dengan memungkinkan *smart contract* untuk berkomunikasi dan beradaptasi dengan perubahan dalam ekosistem *blockchain* secara *real-time*, sementara DSC berbasis *key-value store* menghemat biaya gas dengan menggunakan hanya sebagian kecil dari data yang diperlukan dan mengoptimalkan interaksi antar kontrak.

Melalui SCI, DSC tidak hanya memanipulasi data secara fleksibel tetapi juga memfasilitasi interaksi yang lebih kompleks dan berlapis antara berbagai *smart contract*. Kegiatan ini menciptakan ekosistem yang lebih terintegrasi ketika data dan transaksi dapat dikelola dengan lebih efisien, mengurangi redundansi dan meningkatkan kecepatan respons terhadap perubahan pasar atau kondisi lingkungan. Dengan demikian, penggunaan DSC berbasis *key-value store* dan SCI dalam pengelolaan komoditas kopi dan ikan menjanjikan peningkatan signifikan dalam fleksibilitas, efisiensi, dan keandalan rantai pasok, membuka jalan bagi sistem pertanian yang lebih adaptif dan cerdas.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengatasi tantangan dalam penggunaan *blockchain* berbasis SSC pada komoditas ikan dan kopi, seperti parameter dan fleksibilitas yang kaku, aturan yang tak bisa diubah, adaptasi sistem yang kurang, penyelesaian sengketa yang sulit, skalabilitas yang rendah, biaya transaksi yang tinggi, keamanan yang rentan, dan kompleksitas implementasi sistem yang sulit?
2. Bagaimana model DSCI berbasis *key-value store* dapat meningkatkan keberhasilan pengelolaan komoditas kopi dan ikan, serta mengatasi keterbatasan SSC?

## 1.3 Tujuan

Tujuan penelitian yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Mengatasi tantangan dalam penggunaan *blockchain* berbasis SSC untuk pengelolaan komoditas kopi dan ikan pada satu platform, dengan mengidentifikasi dan menganalisis permasalahan yang ada, serta merancang dan mengembangkan model *blockchain* berbasis *key-value store* dengan DSCI.

2. Mengetahui keberhasilan model DSCI berbasis *key-value store* dalam mengatasi permasalahan SSC pada komoditas kopi dan ikan, dengan mengevaluasi kinerja, keamanan *smart contract*, dan keberhasilan model tersebut.

#### 1.4 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Dapat memberikan solusi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan transparansi dalam pengelolaan komoditas kopi dan ikan.
2. Dapat memberikan rekomendasi yang tepat untuk pengembangan sistem pengelolaan komoditas kopi dan ikan di sektor agro-maritim.
3. Dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan teknologi *blockchain* dan DSCI di bidang pengelolaan komoditas.
4. Dapat memberikan masukan yang berguna bagi pemangku kepentingan terkait, seperti produsen, pengolah, dan pemasok komoditas kopi dan ikan.
5. Dapat menjadi sumber informasi yang berguna bagi penelitian sejenis di masa mendatang.

#### 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian dari rumusan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini melibatkan komoditas kopi dan ikan sebagai objek penelitian.
2. Penelitian ini menggunakan platform *blockchain* dan DSCI yang didukung oleh *key-value store* sebagai teknologi yang akan dikembangkan.
3. Penelitian ini melibatkan pemangku kepentingan terkait seperti produsen, pengolah, dan pemasok komoditas kopi dan ikan.
4. Penelitian ini akan mengevaluasi kemampuan DSCI berbasis *key-value store* dalam mengelola komoditas kopi dan ikan.
5. Penelitian ini akan merancang dan memvalidasi model otentikasi dan otorisasi yang memastikan identifikasi dan verifikasi pemangku kepentingan sebelum mengakses dan berinteraksi dengan platform *blockchain*. Model ini akan membatasi akses berdasarkan peran yang didefinisikan untuk mengontrol eksekusi transaksi dalam sistem.

#### 1.6 Kebaruan (*novelty*)

Penelitian ini menawarkan sebuah inovasi pada implementasi *smart contract* dengan memanfaatkan *key-value store* dalam konteks yang belum pernah dieksplor sebelumnya, khususnya dengan integrasi *Smart Contract Interaction* (SCI). Meskipun *key-value store* telah digunakan secara luas dalam

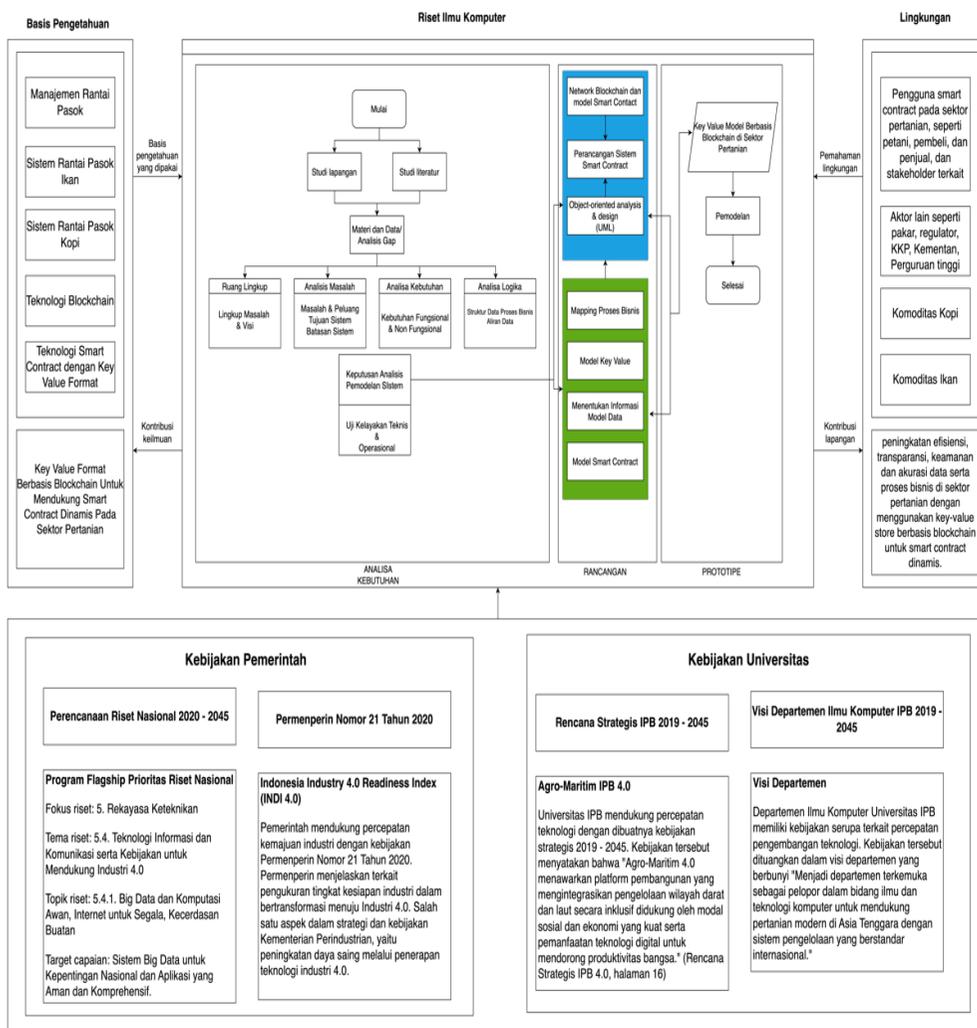
berbagai aplikasi, integrasinya dengan *dynamic smart contract* dan SCI untuk meningkatkan adaptabilitas, fleksibilitas, serta otomatisasi interaksi antar kontrak merupakan kebaruan dari penelitian ini. Kebaruan ini tidak hanya memudahkan pengembang dalam menyesuaikan dan memodifikasi data tanpa harus melakukan revisi mayor pada *smart contract* itu sendiri, tetapi juga memungkinkan *smart contract* untuk berinteraksi dan beradaptasi secara otomatis dengan perubahan yang terjadi dalam ekosistem *blockchain*.

Dengan pendekatan ini, penelitian ini berharap untuk meningkatkan fleksibilitas dan adaptabilitas *smart contract* dalam menghadapi perubahan dan kebutuhan data yang konstan, serta memperkenalkan kemampuan baru dalam otomatisasi dan koordinasi yang efisien antara berbagai *smart contract*. Inovasi ini diharapkan dapat membuka jalan bagi pengembangan aplikasi *blockchain* yang lebih dinamis dan responsif, yang dapat beradaptasi dengan kebutuhan pasar dan regulasi yang terus berubah dengan cepat dan efisien.

## II METODE

### 2.1 Kerangka Pemikiran Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada perencanaan riset nasional 2020-2045 yang menempatkan fokus riset pada teknologi informasi dan komunikasi serta kebijakan untuk mendukung industri 4.0. Hal ini sejalan dengan Permenperin Nomor 21 Tahun 2020 yang mengukur tingkat kesiapan industri dalam bertransformasi menuju Industri 4.0. Penelitian ini juga didukung oleh Rencana Strategis IPB 2019-2045 dan Departemen Ilmu Komputer yang menempatkan pemanfaatan teknologi digital sebagai fokus dalam meningkatkan produktivitas bangsa melalui pengelolaan wilayah darat dan laut secara inklusif.



Gambar 2 Kerangka pemikiran penelitian

Gambar 2 memperlihatkan bahwa penelitian ini memiliki 3 poin pemikiran yang penting yaitu basis pengetahuan, riset ilmu komputer, dan lingkungan. Keseluruhan poin tersebut sesuai dengan kebijakan pemerintah maupun universitas.

Basis pengetahuan merupakan kumpulan dari pengetahuan yang relevan dan digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah yang ditetapkan dalam penelitian (Burggräf *et al.* 2020). Dalam penelitian ini, basis pengetahuan yang akan digunakan meliputi pemahaman terhadap beberapa aspek seperti terkait manajemen rantai pasok, sistem rantai pasok ikan (Al-Busaidi *et al.* 2016), sistem rantai pasok kopi (Nguyen dan Sarker 2018), teknologi *blockchain* (Ayan *et al.* 2022), teknologi *smart contract* (Lin *et al.* 2022) dengan *key-value store* (Huang *et al.* 2021).

Poin kedua adalah riset ilmu komputer. Pada poin ini, kegiatan yang dilakukan adalah memahami literatur yang terkait dengan penerapan teknologi *blockchain* pada bidang agrikultur terutama komoditas kopi dan ikan. Berdasarkan SLR yang sudah diuraikan pada bagian sebelumnya, terdapat celah penelitian terkait penerapan *key-value store* yang mendukung DSCI pada teknologi *blockchain* untuk meningkatkan efisiensi dan transparansi dalam manajemen rantai pasok pada kedua komoditas tersebut. Adapun beberapa masalah yang terjadi pada penelitian sebelumnya yaitu kepercayaan yang ada dalam rantai pasok produk pertanian (Hu *et al.* 2021), pencemaran bakteri pada produk pertanian (Niu *et al.* 2021), manajemen data pertanian (Griffin *et al.* 2022), mengatasi masalah keamanan, privasi, dan kepercayaan (Chowdhury *et al.* 2020), meningkatkan transparansi dan privasi data (Bhat *et al.* 2022), transparansi, ketepatan waktu, ketelusan, keamanan, dan ketetapan dalam sektor agro-maritim (Patel dan Shrimali 2023), dan lain sebagainya.

Poin ketiga adalah lingkungan. Lingkungan dalam penelitian ini adalah sektor agro-maritim di Indonesia yang merupakan sektor dengan peluang optimalisasi tinggi terkait penerapan teknologi *blockchain* dan *smart contract* dalam manajemen rantai pasoknya. Dalam lingkungan ini, akan dilakukan analisis terhadap permasalahan yang dihadapi oleh aktor-aktor yang terlibat dalam manajemen rantai pasok komoditas ikan dan kopi. Selain itu, juga akan dilakukan evaluasi terhadap kebutuhan dan potensi penerapan teknologi *blockchain* dan *smart contract* dalam manajemen rantai pasok komoditas kopi dan ikan. Proses pembangunan prototipe juga akan disesuaikan dengan lingkungan dan konteks sektor agro-maritim untuk memastikan bahwa solusi yang ditawarkan dapat diterapkan dan diterima oleh aktor-aktor yang terlibat dalam sektor agro-maritim khususnya komoditas kopi dan ikan. Terakhir, lingkungan juga akan dipertimbangkan dalam hal regulasi dan kebijakan yang diterapkan oleh pemerintah dan *stakeholder* terkait seperti Kementerian Kelautan dan Perikanan, Kementerian Pertanian, dan perguruan tinggi. Hal ini penting untuk memastikan bahwa solusi yang ditawarkan sesuai dengan regulasi dan kebijakan yang berlaku serta dapat diterima oleh pihak-pihak terkait.

## 2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini akan mengadopsi metode Penelitian Sistem Informasi yang dikembangkan oleh Walsham (Powell dan Walsham 1993). Tahap-tahap dalam kerangka kerja ini akan meliputi identifikasi masalah dan latar belakang, pemahaman konteks, desain penelitian, desain prototipe, implementasi, pengujian prototipe, evaluasi prototipe, dan kesimpulan dan rekomendasi. Berbagai tahapan tersebut dapat lebih jelas dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Tahapan penelitian

Penjelasan terkait berbagai tahapan tersebut dapat diuraikan lebih detail sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah dan latar belakang: Dalam tahap ini akan dilakukan analisis terhadap masalah yang akan diteliti dalam penelitian ini. Hal ini termasuk mengidentifikasi masalah yang muncul dari penggunaan *blockchain* dan *smart contract* dalam sektor agro-maritim khususnya kopi dan ikan, mengumpulkan informasi tentang permasalahan yang terjadi dan mengumpulkan data yang relevan dengan masalah tersebut.
2. Pemahaman konteks: Tahap ini dilakukan untuk mengeksplorasi studi literatur dan pengumpulan data awal untuk memahami konteks dari penggunaan *blockchain* dan *smart contract* dalam sektor agro-maritim. Hal ini termasuk mengumpulkan informasi tentang organisasi yang mungkin menggunakan teknologi *blockchain* dan *smart contract* dalam sektor agro-maritim, serta melakukan wawancara dengan pemangku kepentingan yang relevan untuk mengumpulkan informasi tentang konteks yang lebih luas dari penelitian ini.

3. Desain penelitian: Tahap ini meliputi desain metode penelitian yang akan digunakan, seperti studi kasus atau desain eksperimen, serta pemilihan lokasi dan subjek penelitian. Dalam konteks penelitian ini, tahapan ini mungkin termasuk menentukan jenis studi yang akan digunakan, serta menentukan subjek yang akan diteliti dan cara mengumpulkan data dari subjek tersebut.
4. Desain Prototipe: Tahap ini meliputi desain prototipe yang akan dibuat dan spesifikasi teknis dari prototipe tersebut. Dalam konteks penelitian ini, tahapan ini meliputi desain arsitektur teknis dari prototipe yang akan dibuat, serta spesifikasi teknis dari prototipe tersebut seperti cara kerja, komponen yang digunakan, dan lain sebagainya.
5. Implementasi: Tahap ini meliputi proses pembuatan prototipe sesuai dengan desain yang telah dibuat. Dalam konteks penelitian ini, tahapan ini meliputi proses pemrograman dan pengembangan prototipe yang akan dibuat menggunakan teknologi *blockchain* dan DSCI yang didukung oleh *key-value store*.
6. Pengujian prototipe: Tahap ini meliputi pengujian prototipe dengan menggunakan data *real-world* dari sektor agro-maritim. Tahapan ini meliputi uji coba prototipe dengan menggunakan data yang diperoleh dari organisasi atau subjek yang telah ditentukan sebelumnya, atau melakukan uji coba dengan menggunakan data simulasi.
7. Evaluasi prototipe: Tahap ini meliputi evaluasi performa prototipe dalam menunjang proses bisnis dan interaksi antara berbagai aktor dalam sektor agro-maritim. Tahapan ini meliputi evaluasi prototipe dari segi performa teknis, efisiensi, efektivitas dan keamanan *smart contract* yang digunakan pada prototipe.
8. Kesimpulan dan rekomendasi: Tahap ini meliputi penarikan kesimpulan dari hasil penelitian dan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut dari penggunaan *blockchain* dan *smart contract* dalam sektor agro-maritim. Tahapan ini meliputi kesimpulan mengenai kelebihan dan kekurangan dari prototipe yang dibuat, serta rekomendasi untuk perbaikan atau pengembangan lebih lanjut dari prototipe tersebut atau penggunaan teknologi *blockchain* dan *smart contract* dalam sektor agro-maritim.

### 2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

- Penelitian akan dilakukan pada Bulan Agustus 2020 sampai dengan Bulan Juli 2023 dan berlokasi di Pelabuhan Nizam Zachman Jl. Tuna V No.20, RT.20/RW.17, Penjaringan, Kec. Penjaringan, Kota Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 14440. Sedangkan untuk penelitian pada komoditas kopi akan dilaksanakan di Kementerian Pertanian Republik Indonesia yang berlokasi Jl. Harsono RM No.3, Ragunan, Ps. Minggu, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12550.

### III HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Identifikasi Masalah

Teknologi *blockchain* telah menjanjikan revolusi di berbagai bidang, salah satunya agrikultur. Namun, salah satu komponen kunci dari *blockchain*, yaitu *smart contract*, menghadapi sejumlah tantangan yang membatasi potensinya. Implementasi teknologi *blockchain* di sektor agro-maritim, khususnya di industri ikan dan kopi, menawarkan solusi potensial untuk beberapa masalah, namun tidak tanpa hambatan. SSC memiliki keterbatasan yang signifikan. Pertama, SSC memiliki karakteristik inheren seperti parameter-parameternya tetap dan tidak dapat diubah (Liu *et al.* 2019). Hal ini dapat menyebabkan keterbatasan dalam beradaptasi dengan fluktuasi kondisi pasar atau kebutuhan pengguna. Selanjutnya, regulasi dalam kerangka kerja SSC telah ditetapkan dan tidak dapat diubah (Chen *et al.* 2018). Ini berarti bahwa dalam hal perubahan regulasi, SSC mungkin perlu beradaptasi dengan cepat. Selain itu, sangat penting untuk meningkatkan fleksibilitas dalam SSC. Sektor agro-maritim memerlukan tingkat fleksibilitas yang tinggi karena perubahan kondisi yang sering dan tidak dapat diprediksi (Dolgui *et al.* 2020). Selanjutnya, tidak memungkinkan untuk memodifikasi atau menyesuaikan SSC (Dolgui *et al.* 2020). Kemampuan untuk menyesuaikan diri dan merespons pergeseran dalam lingkungan yang dinamis dan berfluktuasi sangat penting. Pada akhirnya, skalabilitas SSC memiliki keterbatasan tertentu (Ghaffari *et al.* 2021). Dalam cakupan yang lebih luas, keterbatasan ini dapat menjadi hambatan besar bagi pelaksanaan dan efektivitas operasi yang berhasil. Visualisasi ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Berbagai masalah pada SSC

#### 3.2 Pemahaman Konteks

Dengan memahami keterbatasan yang ada dalam SSC, penting untuk mendalami konteks penggunaan teknologi *blockchain* dan *smart contract* dalam sektor agro-maritim. Melalui studi literatur yang mendalam, terungkap bahwa meskipun teknologi *blockchain* menawarkan solusi inovatif untuk sektor agro-maritim, penerapannya masih dalam tahap awal. Indonesia,

sebagai salah satu produsen kopi dan ikan terbesar di dunia, menunjukkan potensi besar dalam penerapan teknologi *blockchain* di sektor agro-maritim. Namun, tantangan seperti fluktuasi harga komoditas, perubahan regulasi, dan kebutuhan adaptasi cepat terhadap kondisi pasar membuat solusi teknologi *blockchain* tradisional, seperti SSC yang kurang optimal. Meskipun SSC menawarkan keamanan dan transparansi, ia memiliki keterbatasan dalam adaptabilitas dan skalabilitas, yang menjadi hambatan utama dalam penerapannya di sektor agro-maritim yang dinamis. Untuk memahami konteks ini dengan lebih mendalam, penelitian ini melibatkan eksplorasi literatur yang ada dan pengumpulan data awal. Informasi mengenai organisasi yang telah menggunakan teknologi *blockchain* dan *smart contract* di sektor agro-maritim dikumpulkan. Selain itu, wawancara dengan pemangku kepentingan yang relevan juga dilakukan untuk mendapatkan gambaran yang lebih luas mengenai tantangan dan peluang dalam penerapan teknologi *blockchain* di sektor agro-maritim, khususnya dalam konteks rantai pasokan kopi dan ikan di Indonesia. Dengan memahami konteks ini, penelitian ini berusaha untuk mengembangkan solusi yang lebih adaptif dan fleksibel, yaitu melalui pengenalan *dynamic smart contracts interaction* (DSCI) berdasarkan kerangka *key-value store*. DSCI diharapkan dapat mengatasi keterbatasan yang ada pada SSC dan memberikan solusi yang lebih sesuai untuk kebutuhan sektor agro-maritim yang dinamis dan berubah-ubah.

### 3.3 Desain Penelitian

Penelitian ini bertujuan memahami potensi dan tantangan penerapan teknologi *blockchain* dan *smart contract* di sektor agro-maritim Indonesia, khususnya untuk rantai pasokan kopi dan ikan. Studi kasus dipilih sebagai metode utama untuk melakukan eksplorasi mendalam tentang fenomena ini dalam konteks nyata. Lokasi penelitian di Indonesia dipilih karena negara ini merupakan produsen utama kopi dan ikan, serta memiliki tantangan unik dalam rantai pasokan kedua komoditas tersebut. Subjek penelitian meliputi berbagai pemangku kepentingan di sektor agro-maritim, seperti petani, distributor, pemasok, dan konsumen, untuk mendapatkan wawasan yang berharga tentang penerapan teknologi *blockchain* dalam konteks mereka.

Pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi wawancara mendalam, observasi lapangan, dan analisis dokumen. Wawancara dan observasi membantu memvalidasi data dan memahami praktik nyata di lapangan, sementara analisis dokumen memberikan konteks teoritis. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif tentang potensi dan tantangan penerapan teknologi *blockchain* di sektor agro-maritim Indonesia. Desain penelitian yang komprehensif ini dirancang untuk memastikan validitas, reliabilitas, dan etika penelitian, serta berkontribusi pada literatur dan memberikan rekomendasi praktis bagi industri.

### 3.4 Desain Prototipe

#### 3.4.1 Alat dan Bahan

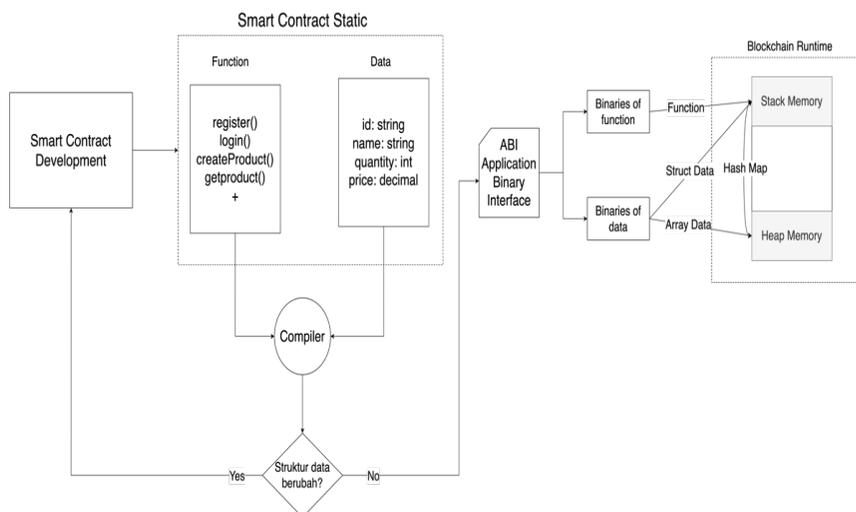
Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Perangkat keras berupa komputer dengan spesifikasi:
  - Laptop *Macbook M1 Chip*
  - Prosesor: Apple M1 chip dengan 8-core CPU (4 inti *high-performance* dan 4 inti *high-efficiency*)
  - Grafis: 8-core GPU Apple M1
  - RAM: 8 GB
  - Penyimpanan: 256 GB
  - Layar: 13,3 inci Retina display dengan resolusi 2560 x 1600 piksel
- 2 Perangkat lunak yang digunakan:
  - MacOS Monterey: Sebagai sistem operasi
  - Solidity: Bahasa pemrograman yang digunakan untuk menulis *smart contract* di Ethereum.
  - Remix IDE: Lingkungan pengembangan berbasis web untuk *smart contract Ethereum*, memudahkan dalam penulisan, pengujian, dan *deployment smart contract*.
  - Truffle Framework: Kerangka kerja pengembangan untuk Ethereum yang memudahkan dalam kompilasi, pengujian, dan penerapan *smart contract*.
  - Ganache: *Personal blockchain untuk pengembangan Ethereum* yang digunakan untuk pengujian dan pemrograman tanpa mengeluarkan biaya *'real world'*.
  - Metamask: Dompnet Ethereum berbasis browser yang memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan aplikasi desentralisasi (DApps) di *browser*.
  - Web3.js / Ethers.js: Pustaka *JavaScript* yang memungkinkan aplikasi *web* berinteraksi dengan *blockchain* Ethereum.
  - Node.js: Lingkungan *runtime JavaScript* yang memungkinkan proses pengembangan aplikasi *server-side*.

#### 3.4.2 Arsitektur Prototipe

Memahami arsitektur SSC melibatkan pengenalan alur kerja dan identifikasi titik kekuatan dan kelemahan dalam desainnya. Arsitektur ini penting dalam menentukan efisiensi dan keamanan dalam pemrosesan, penyimpanan, dan pengiriman informasi. Proses SSC dimulai dengan tahap Smart Contract Development, di mana pengembang menentukan fungsi dan struktur data kontrak. Struktur data biasanya sederhana, terdiri dari elemen seperti id, nama, kuantitas, dan harga, yang dapat menjadi terbatas ketika data kompleks atau perubahan struktur diperlukan.

Setelah kompilasi, sistem mengecek apakah ada perubahan dalam struktur data produk. Jika ada, proses kembali ke tahap pengembangan, yang bisa memakan waktu dan sumber daya. Jika tidak, data bergerak ke ABI (Application Binary Interface) yang mengirimkan binari fungsi dan data ke memori dalam lingkungan runtime blockchain. Tantangan utama adalah transfer data antara memori, yang menambah kompleksitas dan potensi kesalahan ke kode smart contract. Ini juga bisa meningkatkan biaya transaksi dan waktu eksekusi, yang bisa kritis untuk aplikasi yang membutuhkan respons cepat. Visualisasi arsitektur SSC dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Arsitektur diagram SSC

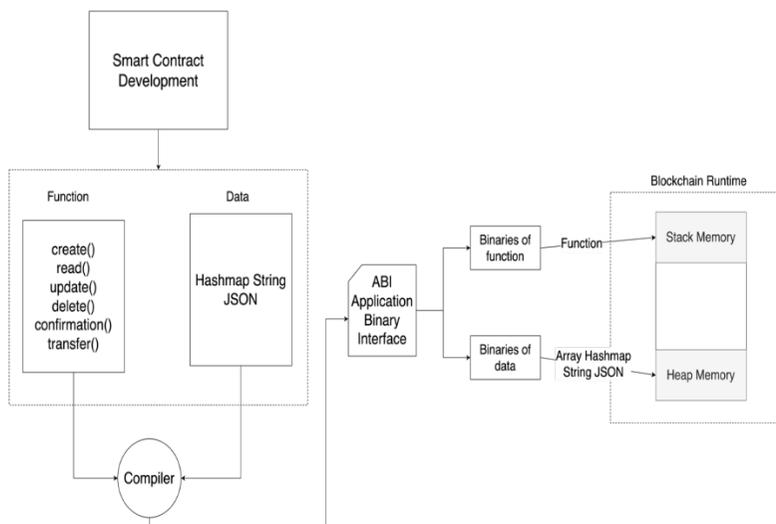
DSCI datang sebagai solusi inovatif untuk keterbatasan SSC, dengan menggunakan hashmap string JSON sebagai dasar struktur datanya. Ini memberikan lingkungan yang lebih fleksibel dan adaptif bagi pengembang. Dalam tahap pengembangan smart contract DSCI, pendekatan lebih dinamis. Hashmap string JSON memungkinkan penyimpanan data yang fleksibel dalam bentuk key-value. Pengembang bisa menambahkan, mengubah, atau menghapus atribut tanpa perlu merombak seluruh struktur data kontrak, berbeda dengan SSC yang memerlukan revisi kontrak setiap ada perubahan struktur.

Setelah kompilasi dalam DSCI, langkah pengecekan perubahan struktur data dihilangkan, mempercepat proses karena kode langsung dikompilasi ke ABI (Application Binary Interface). Fungsi diarahkan ke stack memory, sementara data dalam bentuk array hashmap string JSON langsung ke heap memory. Ini mengurangi risiko kesalahan dan celah keamanan dengan menghindari transfer data antara stack dan heap. Penghapusan langkah transfer data ini meningkatkan keamanan dan efisiensi, menghemat waktu eksekusi dan biaya, terutama di jaringan blockchain dengan biaya gas tinggi. Menggunakan

heap memory untuk penyimpanan data hashmap juga memaksimalkan kecepatan akses dan penulisan, penting untuk operasi yang memerlukan respons cepat.

DSCI menawarkan solusi yang lebih fleksibel dibandingkan SSC, terutama dalam kasus nyata seperti manajemen perikanan. Dalam SSC, setiap produk ikan memiliki variabel khusus seperti id, nama, jumlah, dan harga. Jika ingin menambahkan atribut baru seperti ukuran atau spesies, perlu dilakukan perbaikan pada kontrak yang sudah ada. Sementara itu, DSCI dengan hashmap string JSON-nya memungkinkan penambahan atau pengubahan atribut dengan mudah tanpa perlu kembali ke tahap pengembangan awal.

Selain itu, DSCI mendukung adaptasi cepat terhadap perubahan mekanisme bisnis dan regulasi, mengurangi downtime dan memastikan kelancaran operasional. Hal ini menjadikan DSCI pilihan yang lebih baik untuk organisasi dan inisiatif seperti rantai pasok ikan dan kopi yang memerlukan fleksibilitas dan efisiensi tinggi. Visualisasi arsitektur diagram DSCI dapat dilihat pada gambar 6.

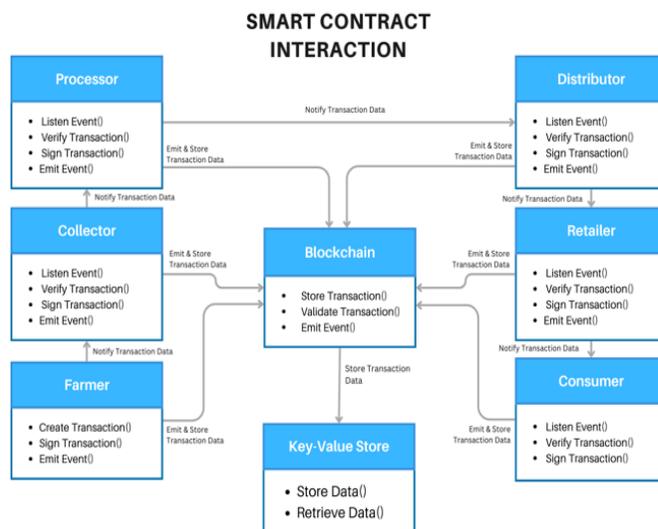


Gambar 6 Arsitektur diagram DSCI

### 3.4.3 Smart Contract Interaction (SCI)

Smart Contract Interaction (SCI) adalah konsep yang memungkinkan interaksi antar smart contract dalam ekosistem blockchain, memfasilitasi komunikasi dan transaksi otomatis antara kontrak yang terpisah, seperti yang terlihat pada Gambar 7. Konsep ini meningkatkan fungsionalitas dan efisiensi proses bisnis dengan menggunakan prinsip event-listening dan trigger-based actions. Artinya, satu smart contract bisa merespons terhadap perubahan atau kejadian yang tercatat oleh smart contract lain, memungkinkan sistem yang terdesentralisasi untuk beroperasi secara lebih sinkron dan terkoordinasi.

Dalam praktiknya, SCI menggunakan event yang dihasilkan oleh smart contract sebagai sinyal untuk memicu aksi di smart contract lain. Misalnya, ketika transaksi disahkan dalam smart contract nelayan, event tersebut bisa memicu notifikasi ke smart contract collector, mempercepat proses distribusi tanpa keterlambatan sambil mempertahankan transparansi. SCI tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga menambahkan keamanan dan kepercayaan dalam transaksi. Dengan setiap langkah tercatat dan dapat diverifikasi, SCI mengurangi risiko kesalahan manusia dan penipuan, memastikan produk yang diterima konsumen akhir adalah segar, etis, dan diproses sesuai standar industri.



Gambar 7 Diagram alur SCI

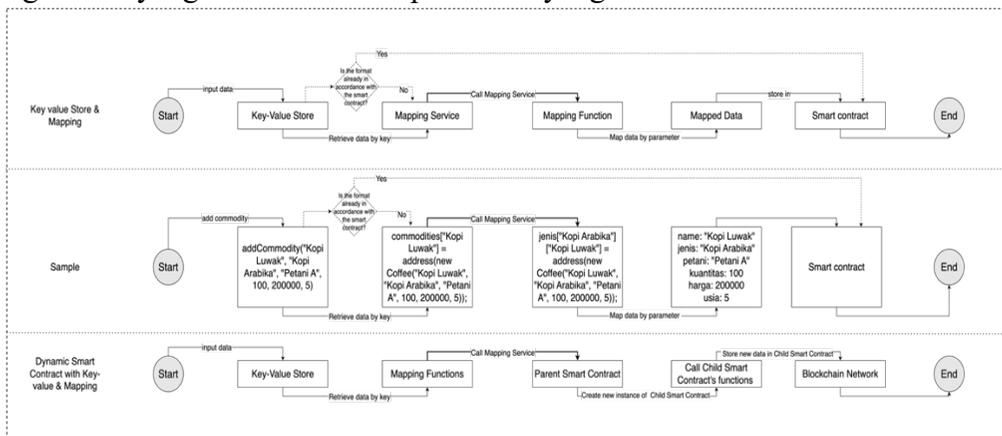
#### 3.4.4 Modifikasi *Key-Value Store*

Dalam teknologi blockchain dan smart contract, key-value store berperan penting dalam manajemen data yang fleksibel dan efisien. Metode ini menghubungkan setiap nilai unik dengan kunci tertentu, memungkinkan akses data yang cepat dan manipulasi data yang mudah. Misalnya, "key" bisa mewakili atribut produk, sedangkan "value" mewakili informasi aktual. Penggunaan key-value store mempercepat pengambilan atau modifikasi data tanpa harus memindai seluruh blockchain, meningkatkan efisiensi dan kecepatan. Dalam DSCI, key-value store memungkinkan atribut kontrak untuk diubah atau diperbarui sesuai kebutuhan, meningkatkan fleksibilitas dan adaptabilitas smart contract tanpa mengorbankan keamanan dan integritas data. Setiap modifikasi data memerlukan otentikasi dan verifikasi yang tepat untuk memastikan keabsahan perubahan.

Key-value store dalam penelitian ini menawarkan keamanan dan fleksibilitas yang diperlukan dalam sektor agro-maritim, terutama industri kopi

dan perikanan, memungkinkan pembaruan informasi produk yang cepat dan efisien. Inovasi dalam model DSCI, seperti smart contract dengan hubungan induk-anak, memberikan fleksibilitas tambahan untuk mengatasi keterbatasan SSC, seperti parameter yang statis. Pendekatan ini membuat sistem lebih adaptif, memudahkan penyesuaian dengan kebutuhan baru dan menampung komoditas baru, meningkatkan efisiensi, transparansi, dan kepercayaan di antara pemangku kepentingan dalam rantai pasokan.

Secara detail, proses transisi data dengan *key-value store* melalui berbagai tahap yang dimulai dari pemetaan fungsi untuk *smart contract* induk dan anak, hingga berada di penyimpanan akhir *blockchain*. Visualisasinya dapat dilihat pada Gambar 8. Gambar tersebut tidak hanya memberikan pandangan teknis yang mendalam, tetapi juga menggambarkan perubahan signifikan yang telah dilakukan pada SSC yang lebih tradisional.

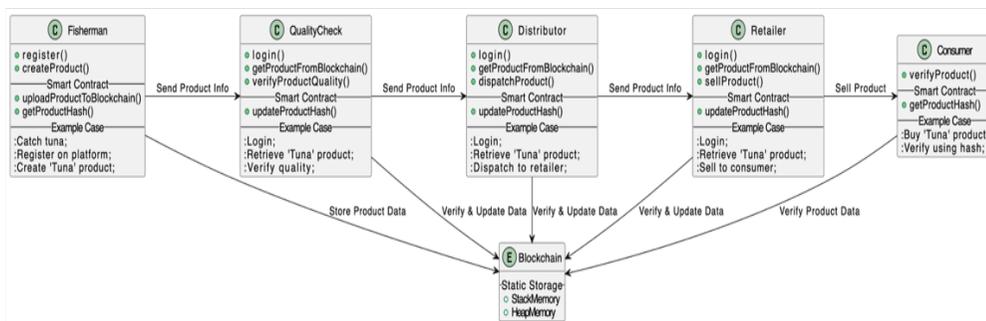


Gambar 8 Modifikasi *key-value store* untuk mendukung DSCI

Perubahan utama pada struktur *key-value store* memungkinkan SSC untuk menampung berbagai format data, tidak hanya terbatas pada ikan atau kopi. DSCI memiliki fleksibilitas yang luar biasa, memungkinkan penyesuaian data secara real-time berdasarkan masukan pengguna. Berbeda dengan model statis sebelumnya yang kaku, model kontrak dinamis ini memberikan adaptasi yang lebih baik dan menjawab tantangan kebutuhan yang berfluktuasi di sektor agro-maritim, terutama untuk komoditas seperti ikan dan kopi.

### 3.4.5 Alur Bisnis Proses

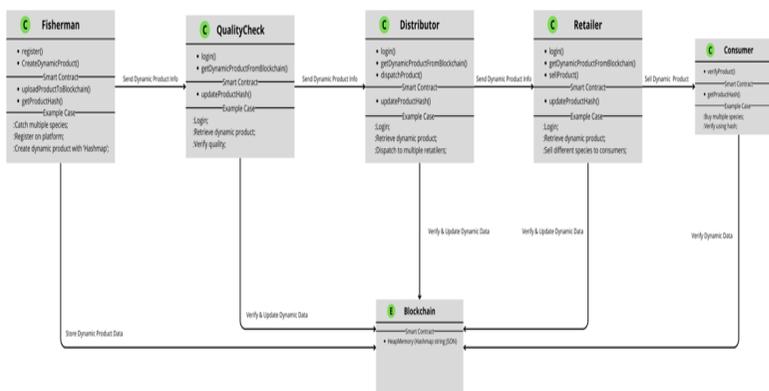
Setelah proses modifikasi *key-value store* selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah menerapkannya dalam diagram proses bisnis. Ini adalah permulaan implementasi konsep tersebut ke dunia nyata. Pada level lanjutan ini, dilakukan eksplorasi aspek teknis yang lebih rumit dan implementasi praktis dari *smart contract blockchain*. Model alur bisnis pertama yang akan dibahas adalah milik SSC. Visualisasinya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Alur bisnis proses SSC

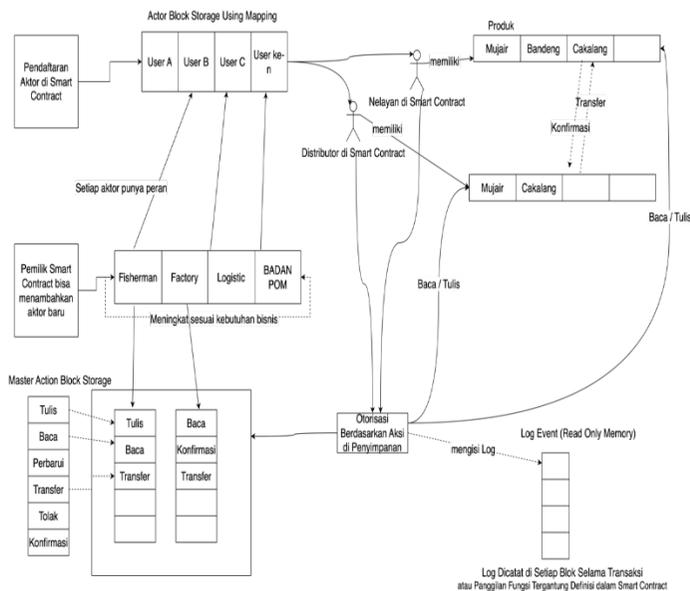
Berdasarkan Gambar 9, SSC menampilkan kerangka kerja yang statis, dengan alur kerja linear dari nelayan hingga konsumen. Setiap tahap memerlukan verifikasi dan pembaruan data, yang didefinisikan oleh variabel statis seperti ID dan harga. Ketidakfleksibelan ini menyebabkan inefisiensi, terutama saat perubahan terjadi, seperti memperkenalkan jenis ikan baru, yang memerlukan revisi smart contract. Selain itu, smart contract berfungsi sebagai pusat penghubung antara entitas bisnis, mulai dari pendaftaran nelayan hingga distribusi produk, dengan setiap langkah melibatkan verifikasi dan pembaruan data di blockchain. Proses ini menjamin keamanan dan ketahanan data, tetapi kurang cocok untuk beradaptasi dengan kebutuhan pasar yang berfluktuasi atau regulasi rantai pasokan yang dinamis.

Dalam konteks blockchain sebagai pusat data yang stabil, keterbatasan SSC terletak pada perlunya memulai siklus dari awal setiap kali ada perubahan dalam struktur data atau informasi produk, mengakibatkan proses yang memakan waktu dan boros biaya. Sebaliknya, DSCI menawarkan fleksibilitas dan dinamisme dengan menggunakan format data hashmap-string JSON, memungkinkan manajemen data yang lancar dan dinamis tanpa harus kembali ke tahapan sebelumnya untuk perubahan kecil. Ini memberi manfaat kepada semua pihak di rantai pasokan, mulai dari nelayan hingga konsumen, dengan pendekatan modular yang lebih efisien seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Alur bisnis proses DSCI

Dengan diagram yang lebih detail ini terlihat bahwa DSCI tidak hanya menyederhanakan manajemen data, tetapi menawarkan fitur lain yang jauh lebih baik yaitu kontrol akses berbasis peran dari setiap anggota di dalam jaringan *blockchain* serta kemampuannya untuk melakukan pelacakan secara *real-time* tanpa mengganggu proses bisnis yang sedang berjalan. Kontrol akses ini dapat digunakan untuk menambah, mengurangi, menghapus, mengganti, dan juga mengontrol akses dari setiap aktor tersebut. Hal ini menjadikan DSCI solusi yang sangat tangguh, transparan, dan adaptif untuk sistem rantai pasokan yang rumit. Sebuah diagram detail dari DSCI disajikan pada Gambar 11.



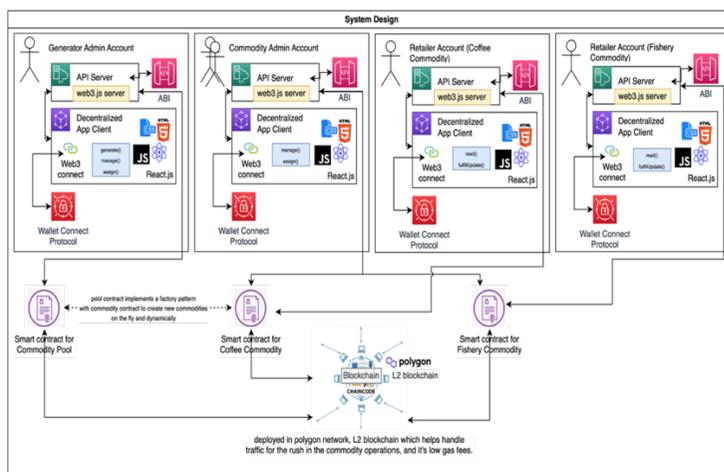
Gambar 11 Alur bisnis detail DSCI

### 3.4.6 Desain Model Prototipe yang Diusulkan

Setelah bentuk alur bisnis dibuat, selanjutnya adalah merancang model prototipe beserta teknologi yang tepat untuk digunakan pada kasus ini. Pada Gambar 12, penelitian ini mengusulkan prototipe inovatif yang dirancang untuk memberikan perubahan mendasar untuk mengelola komoditas melalui DSCI. Meskipun model ini secara khusus dirancang dengan mempertimbangkan rantai pasokan ikan dan kopi, arsitekturnya memungkinkan skalabilitas yang mudah dan adaptasi terhadap kondisi pasar yang fluktuatif, sehingga menciptakan ekosistem manajemen kontrak yang tangguh, serbaguna, dan efisien.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12, inti dari model yang diusulkan terdiri dari *smart contract* untuk Komoditas *Pool*. Ini berfungsi sebagai *smart contract* 'induk' dari kontrak-kontrak 'anak' yang khusus akan dihasilkan untuk setiap komoditas yang berbeda seperti *smart contract* ikan dan *smart contract* kopi. Atribut *smart contract* induk berfungsi sebagai

cetakan bagi kontrak-kontrak anaknya, memastikan keseragaman sambil memungkinkan kustomisasi khusus. Dalam kerangka ini, penerapan DSCI di bidang perikanan dan pertanian diilustrasikan melalui bukti konsep. Di sini, atribut dinamis dari produk perikanan dan komoditas pertanian dapat dikelola dan diperbarui secara real-time, menyediakan solusi yang responsif terhadap kebutuhan rantai pasokan yang dinamis di sektor-sektor ini.



Gambar 12 Desain model prototipe yang diusulkan

Berdasarkan analisis mendalam, desain model yang dibuat menghasilkan AniraBlock, sebuah framework baru yang merupakan implementasi dari Dynamic Smart Contract Interaction (DSCI). AniraBlock menandai langkah inovatif dalam pengembangan smart contract, dengan kemampuan untuk beradaptasi secara dinamis dengan perubahan kondisi pasar dan kebutuhan operasional. Pendekatan ini memungkinkan kontrak untuk berevolusi sesuai dengan variabel yang berubah, seperti fluktuasi harga atau perubahan permintaan, sangat penting untuk integritas data dan efisiensi operasional di sektor agro-maritim. Fleksibilitas dan adaptabilitas AniraBlock memungkinkannya untuk diaplikasikan di berbagai sektor lain, memberikan solusi yang lebih responsif dan efisien dibandingkan dengan smart contracts statis. AniraBlock tidak hanya merepresentasikan kemajuan teknis, tetapi juga berpotensi memberikan dampak signifikan dalam meningkatkan praktik-praktik rantai pasokan pertanian, menandai sebuah inovasi yang dapat mengubah cara pandang dalam berinteraksi dengan smart contracts.

### 3.5 Implementasi Model DSCI yang Diusulkan

#### 3.5.1 Diagram UML

Dalam penelitian ini, *Unified Modeling Language* (UML) digunakan sebagai alat untuk menggambarkan secara visual terkait struktur dan urutan operasional dari prototipe. Terdapat empat kategori diagram UML berbeda

yang akan diterapkan, yaitu *class* diagram, *activity* diagram, *sequence* diagram, dan *use-case* diagram. *Class* diagram membantu memahami struktur item dan keterkaitannya, sementara *activity* diagram menggambarkan urutan proses (Unhelkar 2017). *Sequence* diagram menggambarkan interaksi dinamis dan kronologis yang terjadi secara *real-time* antara berbagai entitas. Di sisi lain, *use-case* diagram bertujuan untuk mengidentifikasi fungsionalitas esensial dan pemangku kepentingan yang terlibat dalam sistem atau proses tertentu. Penerapan UML memfasilitasi komunikasi yang efektif antara tim pengembangan dan pemangku kepentingan, sekaligus memperhalus proses dokumentasi (Haendler 2018).

Jenis Diagram UML yang akan dibahas pertama kali adalah *use-case* diagram. Diagram ini berfungsi untuk merepresentasikan secara visual berbagai interaksi yang mungkin dilakukan oleh aktor di dalam sistem (Vingerhoets *et al.* 2021). Diagram ini menjelaskan fungsi dasar dari *smart contract* dan interaksi antara beberapa entitas, termasuk "*Owner*" dan "*User*." Informasi ini dideskripsikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Deskripsi *use-case* diagram

Aktor	Deskripsi
<i>Owner</i>	Seorang individu atau entitas yang memiliki akses penuh ke <i>smart contract</i> . Mereka dapat menambahkan peran dan izin.
<i>User</i>	Sebuah akun general yang dapat berperan sebagai Nelayan, Distributor, atau peran lainnya yang mungkin ditambahkan. Dapat mendaftar dan masuk ke dalam sistem.

Selain itu, terdapat berbagai fungsi *use-case* yang terhubung di antara kedua aktor tersebut. *Use-case* yang dimaksud adalah *deploy contract*, *register*, *login*, *add role*, *assign role to user*, *add permission to role*, dan *check permission*. Penjelasan dari setiap *use-case* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Deskripsi *use-case* diagram

<i>Use Case</i>	Deskripsi
<i>Deploy Contract</i>	Kasus awal di mana Pemilik menerapkan <i>smart contract</i> ke <i>blockchain</i> .
<i>Register</i>	Memungkinkan pelaku untuk mendaftar dalam sistem dengan membuat akun baru.
<i>Login</i>	Mengizinkan aktor yang terdaftar untuk masuk ke dalam sistem.
<i>Add Role</i>	Pemilik dapat menambahkan peran baru ke dalam sistem.
<i>Assign Role to User</i>	Pemilik dapat menetapkan peran yang sudah ada kepada pengguna tertentu.

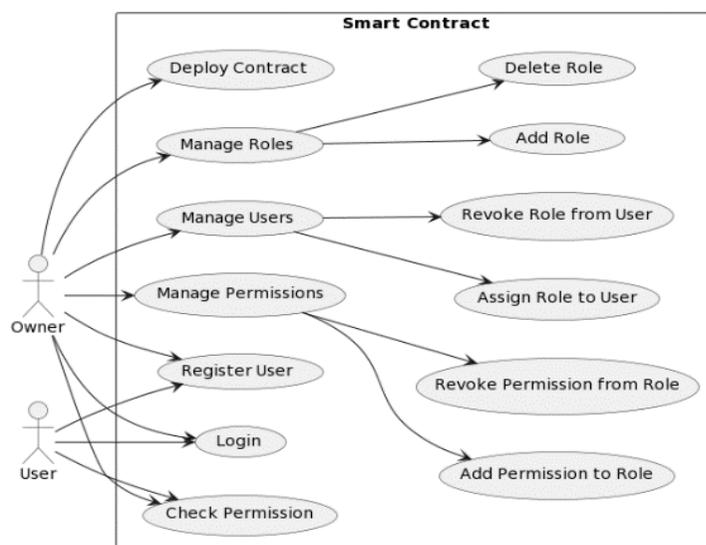
---

<i>Add Permission to Role</i>	Pemilik dapat menambahkan izin ke peran yang sudah ada.
<i>Check Permission</i>	Aktor dapat memeriksa apakah mereka memiliki izin tertentu di dalam sistem.

---

Diagram use-case menggambarkan keterkaitan antara aktor dan use-case dalam interaksi dengan smart contract, dengan dua aktor utama: "Owner" dan "User". "Owner" memiliki akses penuh, dapat menerapkan kontrak, mengelola peran dan izin, serta mendaftarkan pengguna baru. "User" adalah akun umum dengan peran beragam seperti Nelayan dan Distributor, memiliki kemampuan terbatas seperti mendaftar dan masuk ke sistem, serta memeriksa izin mereka.

Secara keseluruhan, *use-case* diagram ini menggambarkan berbagai interaksi yang mungkin terjadi antara aktor dan *smart contract*. Melalui diagram ini, dapat dipahami bagaimana berbagai entitas berinteraksi dengan fitur-fitur yang tersedia dalam *smart contract* dan bagaimana alur kerja dari sistem tersebut. Visualisasi *use-case* diagram dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 *Use case* diagram

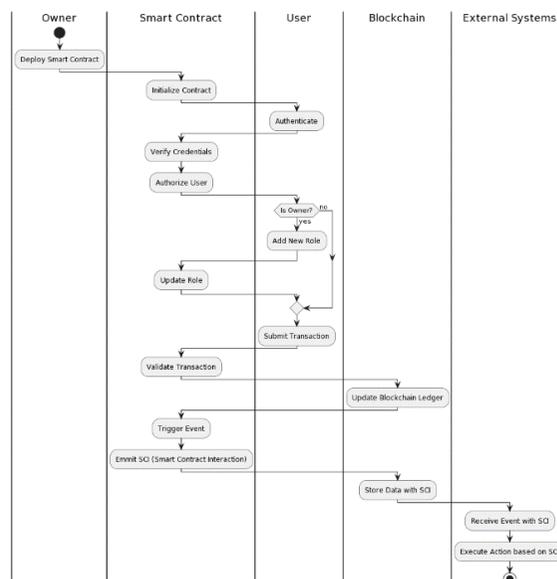
Setelah *use-case* diagram selesai dibuat, proses berikutnya adalah pembuatan *activity* diagram dengan integrasi *Smart Contract Interaction* (SCI). *Activity* diagram ini digunakan untuk menggambarkan alur kerja atau proses bisnis dari suatu sistem yang telah diperkaya dengan kemampuan SCI. Diagram ini memberikan representasi visual dari langkah-langkah yang terjadi dalam suatu proses, termasuk interaksi yang diinisiasi oleh SCI, mulai dari awal hingga akhir, serta interaksi antara berbagai entitas yang terlibat. Pentingnya diagram ini terletak pada kemampuannya untuk menyajikan gambaran yang jelas dan sistematis dari alur kerja yang sekarang mencakup

respons otomatis antar kontrak, memudahkan pemahaman tentang bagaimana suatu sistem berfungsi dengan SCI, dan membantu dalam proses desain dan pengembangan sistem yang lebih interaktif (Sutanto *et al.* 2022).

Dalam alur kerja diagram kasus ini, "Owner" menginisialisasi smart contract melalui aktivitas "Deploy smart contract", yang kemudian diikuti oleh "Initialize Contract". Dengan integrasi Smart Contract Interaction (SCI), setiap inisialisasi dapat memicu event yang direspons oleh smart contract lain dalam sistem. "User" akan mengautentikasi diri mereka melalui "Authenticate" dan jika kredensial valid, mereka akan mendapatkan otorisasi melalui "Authorize User". Proses otorisasi ini juga dapat memicu event yang memberitahukan sistem lain tentang status otorisasi pengguna dengan SCI. "Owner" dapat menambahkan peran baru melalui "Add New Role", dan smart contract akan memperbarui informasi peran melalui "Update Role". Penambahan peran baru ini dapat secara otomatis memberitahukan dan memperbarui smart contract lain yang membutuhkan informasi peran tersebut dalam konteks SCI.

Baik "Owner" maupun "User" biasa dapat mengajukan transaksi ke smart contract melalui "Submit Transaction", yang kemudian divalidasi melalui "Validate Transaction". Jika transaksi valid, informasi akan diperbarui di buku besar Blockchain melalui "Update Blockchain Ledger". Validasi transaksi ini dapat memicu event yang menginformasikan smart contract lain atau sistem eksternal untuk mengambil tindakan yang sesuai, seperti memperbarui status pengiriman atau inventaris dengan SCI.

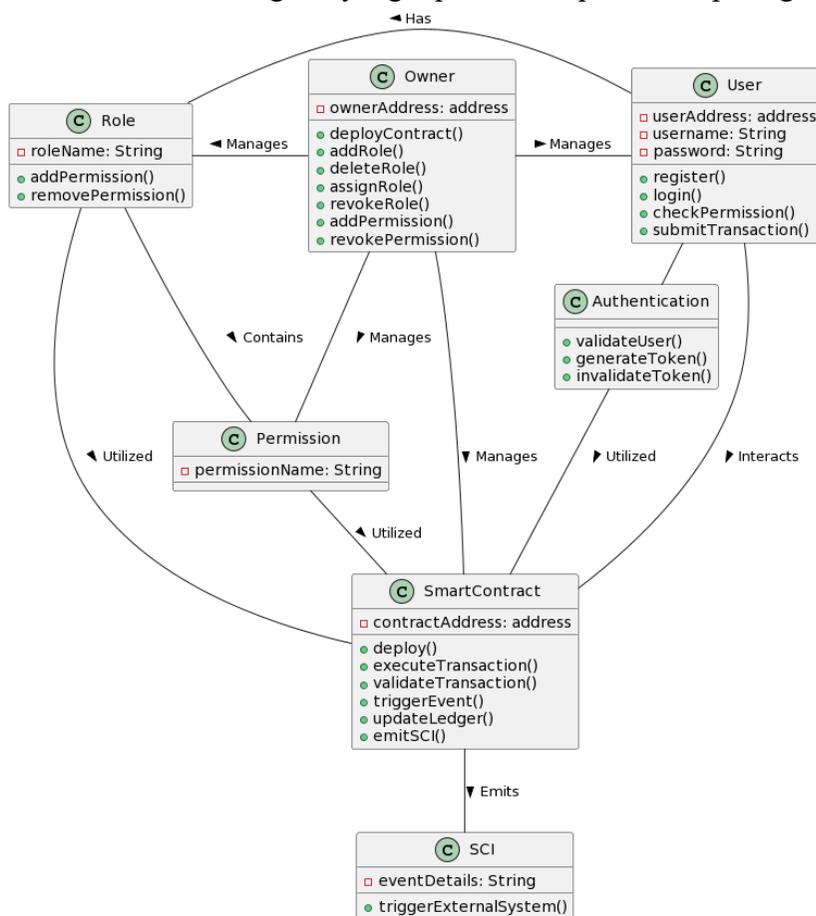
Dengan demikian, visualisasi *activity* diagram dengan integrasi SCI dapat dilihat pada Gambar 14, yang menunjukkan bagaimana *event* yang di-*trigger* oleh *smart contract* dapat memfasilitasi interaksi yang lebih dinamis dan responsif antara berbagai komponen sistem.



Gambar 14 *Activity* diagram

Dalam konteks SCI, *class* diagram yang telah dijelaskan sebelumnya mendapatkan dimensi tambahan yang memperkaya interaksi antar sistem. *Class* diagram yang ada sekarang tidak hanya menggambarkan struktur statis dari sistem tetapi juga mengintegrasikan mekanisme komunikasi dinamis antara *smart contract* yang berbeda melalui SCI (Unhelkar 2017).

Kelas SmartContract kini memiliki metode emitSCI(), yang memungkinkan smart contract untuk mengirimkan event yang dapat didengar dan ditanggapi oleh sistem eksternal atau smart contract lain, memfasilitasi interaksi yang lebih kompleks dan responsif. Kelas SCI, entitas baru yang menangani event-event tersebut, memiliki atribut seperti eventDetails dan metode triggerExternalSystem() untuk memicu aksi di sistem atau smart contract lain berdasarkan event yang diterima. Hubungan "Emits" antara kelas SmartContract dan SCI menunjukkan bahwa smart contract dapat memicu event yang ditangani oleh SCI, memungkinkan interaksi dengan entitas di luar sistem. Visualisasi class diagram yang diperbarui dapat dilihat pada gambar 15.



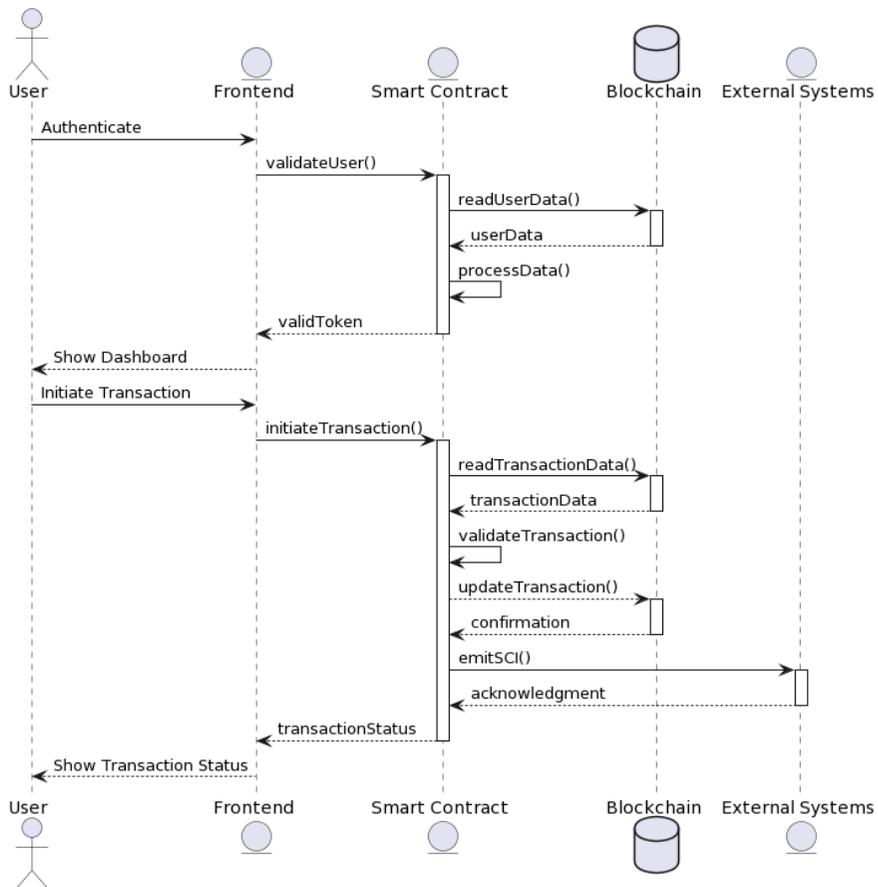
Gambar 15 *Class* diagram

Sebagai contoh, ketika kelas Owner menggunakan metode deployContract() untuk meluncurkan smart contract baru, smart contract

tersebut dapat langsung melakukan emit event melalui metode `emitSCI()`. Event ini kemudian dapat ditangkap oleh kelas SCI yang akan memproses dan meneruskannya ke sistem lain yang relevan, seperti sistem logistik atau keuangan, yang kemudian dapat mengambil tindakan berdasarkan informasi tersebut. Ini memberikan pandangan yang lebih mendalam tentang arsitektur sistem yang memanfaatkan SCI, menunjukkan bagaimana fleksibilitas dan otomatisasi dapat ditingkatkan dalam ekosistem blockchain. Visualisasi class diagram yang diperbarui ini dapat dilihat pada Gambar 33, yang sekarang mencakup kelas SCI sebagai komponen inti dari interaksi smart contract.

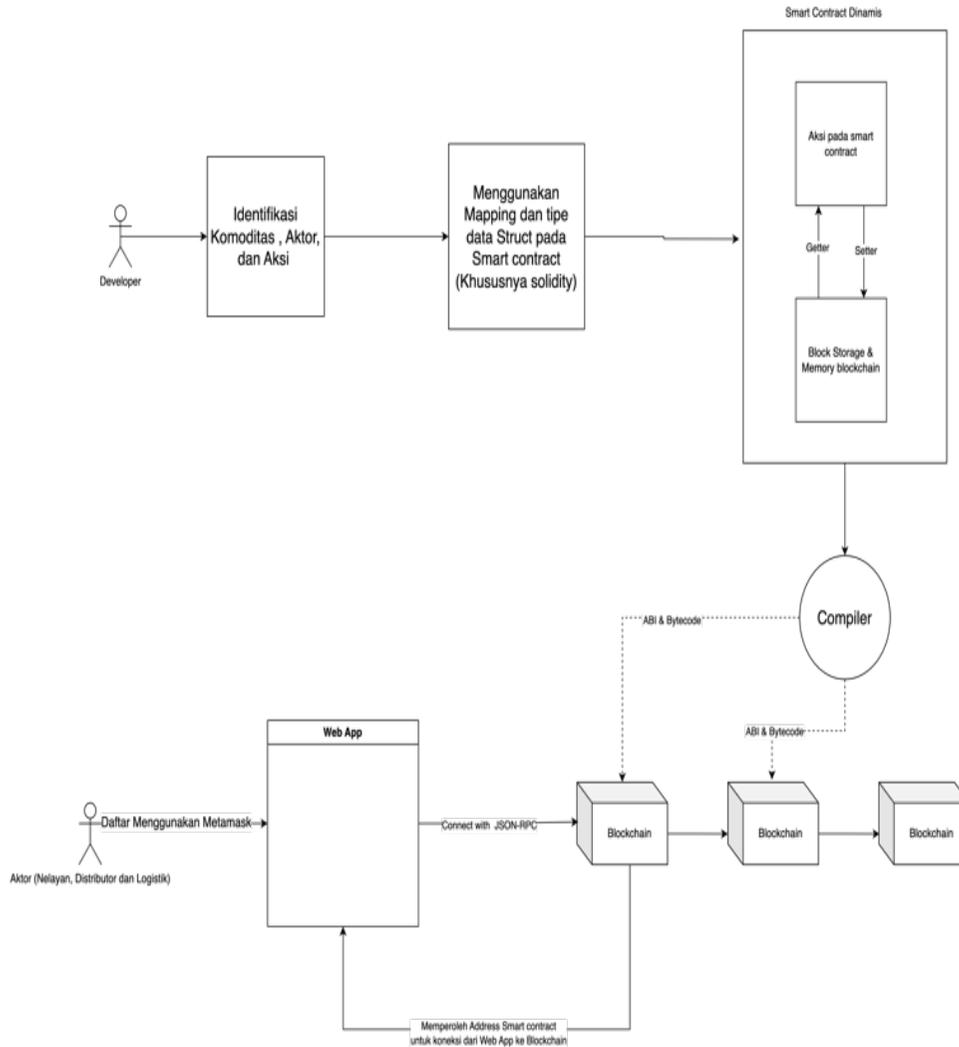
Diagram berikutnya yang dibuat adalah *Sequence Diagram*. Diagram ini merupakan salah satu tipe diagram dalam UML yang menunjukkan interaksi antara objek-objek dalam sistem berdasarkan urutan waktu. Diagram ini menggambarkan cara pesan dikirim dan diterima antara objek-objek yang terlibat dalam sistem serta urutan interaksinya (Unhelkar 2017). Dengan integrasi SCI, interaksi ini diperkaya dengan kemampuan *smart contract* untuk berkomunikasi dan bereaksi terhadap *event* yang dihasilkan oleh *smart contract* lain dalam sistem.

Dalam *Sequence Diagram* ini, terdapat lima entitas utama: User, Frontend, Smart Contract, Blockchain, dan External Systems. Proses dimulai dengan User yang mengautentikasi diri melalui Frontend, kemudian Frontend meminta Smart Contract untuk memvalidasi pengguna. Smart Contract membaca data pengguna dari Blockchain dan mengembalikan token valid ke Frontend, yang menampilkan Dashboard. User kemudian memulai transaksi, dan Frontend berkomunikasi dengan Smart Contract untuk memvalidasi dan memperbarui transaksi di Blockchain. Dengan penerapan Smart Contract Interaction (SCI), Smart Contract memicu event ke External Systems, yang merespons dan mengirim pengakuan kembali. Smart Contract kemudian mengirim status transaksi ke Frontend untuk ditampilkan kepada User. Diagram ini menggambarkan alur interaksi yang kompleks dan dinamis antara entitas, dengan kemampuan SCI yang memungkinkan smart contract berinteraksi dan bereaksi terhadap event dalam ekosistem blockchain. Visualisasi *Sequence Diagram* dengan SCI dapat dilihat pada Gambar 16.

Gambar 16 *Sequence diagram*

### 3.5.2 Arsitektur Sistem

Setelah membuat berbagai diagram UML, langkah selanjutnya adalah mengubahnya menjadi arsitektur sistem praktis untuk pengembangan dan implementasi solusi teknologi, termasuk DSCI dalam ekosistem blockchain untuk manajemen rantai pasokan kopi dan ikan. Arsitektur ini berfungsi sebagai blueprint, menunjukkan bagaimana modul dan entitas berkomunikasi dan berkolaborasi. Keunggulan utama dari arsitektur ini termasuk transparansi di setiap tahap proses, keamanan data dan transaksi dari ancaman eksternal, serta skalabilitas untuk menangani pertumbuhan dan perubahan. Secara keseluruhan, arsitektur ini bertujuan untuk menciptakan solusi yang transparan, aman, dan skalabel, dengan visualisasi yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17 Aristektur sistem

### 3.6 Pengujian Prototipe

#### 3.6.1 Pengujian *Smart Contract*

Pengujian adalah tahap penting dalam pengembangan teknologi blockchain dan smart contract, yang dibagi menjadi dua kategori utama. Kategori pertama berfokus pada pengujian kode smart contract untuk memastikan kepatuhan dengan spesifikasi dan kebutuhan yang ditentukan. Pengujian ini mengacu pada standar Ethereum.org, karena Ethereum adalah platform blockchain terkemuka untuk aplikasi berbasis blockchain. Untuk memverifikasi kepatuhan kode smart contract dengan standar ini, alat yang digunakan adalah Mocha, framework pengujian populer dalam pengembangan aplikasi Ethereum (Asif *et al.* 2022).

Pengujian ini fokus pada sembilan entitas utama, termasuk deploy smart contract, koneksi ke smart contract, pendaftaran dan login ke aplikasi desentralisasi (dapp), pengecekan status pendaftaran dan login, pembuatan dan pengambilan daftar produk, serta pengiriman produk. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan semua fungsi berjalan lancar dan memperbaiki potensi kesalahan atau bug. Hasil pengujian sangat memuaskan, dengan semua tes menunjukkan keberhasilan tanpa kegagalan, menandakan kode smart contract telah memenuhi standar kualitas dan bekerja sesuai fungsi. Keberhasilan ini menegaskan kualitas pengembangan smart contract dan menambah keyakinan akan integritas dan keandalannya. Alat pengujian seperti Mocha terbukti efektif dalam mengidentifikasi dan memvalidasi setiap fungsi, memberikan kepercayaan penuh kepada stakeholder dan pengguna terhadap kualitas dan keandalan smart contract yang dikembangkan.

### 3.6.2 Pengujian Unit dan Agregasi

Penelitian ini melakukan evaluasi mendalam terhadap aspek kunci sistem seperti parameter, aturan, fleksibilitas, adaptasi, dan skalabilitas untuk mengukur kemampuan adaptasi terhadap dinamika lingkungan bisnis yang berubah. Fokus utamanya adalah menilai efisiensi sistem dalam merespons fluktuasi kondisi pasar dan permintaan yang dinamis, termasuk integrasi aturan baru dan penyesuaian proses bisnis. Evaluasi juga meninjau fleksibilitas sistem dalam menghadapi perubahan cepat dan skalabilitasnya dalam mengelola peningkatan volume transaksi dan pengguna. Informasi detail tentang evaluasi ini, termasuk metode, parameter yang diuji, dan hasil yang dicapai, disajikan dalam Tabel 3, memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana sistem diuji dalam berbagai aspek kritis dan bagaimana ia berhasil memenuhi tantangan dalam lingkungan bisnis yang dinamis.

Tabel 3 Pengujian unit

Level	No	Poin Pengujian	SSC	DSCI	Deskripsi Mekanisme
Level Komoditas	1	Mengubah harga komoditas	Ya	Ya	Uji modifikasi harga sistem.
	2	Tambah jenis komoditas baru	Tidak	Ya	Uji penambahan jenis komoditas baru.
	3	Menghapus komoditas	Tidak	Ya	Uji penghapusan komoditas.
	4	Menambah atribut harga	Tidak	Ya	Uji penambahan atribut harga baru komoditas.
	5	Mengubah unit satuan	Tidak	Ya	Uji perubahan unit satuan komoditas.

Level	No	Poin Pengujian	SSC	DSCI	Deskripsi Mekanisme
Level Aktor	1	Menambahkan aktor baru	Tidak	Ya	Uji penambahan aktor baru.
	2	Menghapus aktor	Ya	Ya	Uji penghapusan aktor
	3	Membatasi akses aktor	Ya	Ya	Uji pembatasan akses aktor.
	4	Mengubah peran aktor	Tidak	Ya	Uji modifikasi peran aktor dalam sist.
Level <i>Flow</i> Bisnis	1	Mengganti aturan bisnis	Tidak	Ya	Uji perubahan aturan bisnis.
	2	Memodifikasi proses transaksi	Tidak	Ya	Uji modifikasi proses transaksi.
	3	Menyediakan opsi pengiriman	Tidak	Ya	Uji penambahan opsi pengiriman dalam transaksi.
	4	Tambah sanksi atau insentif	Tidak	Ya	Uji penambahan sanksi atau insentif.
	5	Penanganan perubahan regulasi	Tidak	Ya	Uji penyesuaian terhadap perubahan regulasi.
Level Skalabilitas	1	Tambah cabang bisnis baru	Tidak	Ya	Uji penambahan cabang bisnis baru.
	2	Tambahkan $n$ jenis komoditas baru ke dalam sistem	Tidak	Ya	Uji penambahan beberapa jenis komoditas baru sekaligus.
	3	Tambahkan $n$ aktor baru dalam rantai pasok	Tidak	Ya	Uji penambahan beberapa aktor baru sekaligus.

Pengujian sistem DSCI menunjukkan fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan SSC dalam manajemen informasi komoditas, memungkinkan modifikasi harga, penambahan jenis komoditas baru, dan penghapusan komoditas dengan lebih efisien. Pada level aktor, DSCI menawarkan fleksibilitas dan adaptabilitas yang lebih besar dalam manajemen aktor, memungkinkan perubahan-perubahan yang cepat dan mudah untuk memenuhi kebutuhan bisnis yang berubah. Pada level flow bisnis, DSCI beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan aturan bisnis dan proses transaksi, menawarkan solusi yang lebih dinamis dan responsif. Pada level skalabilitas, DSCI mendukung pertumbuhan dan ekspansi bisnis,

memungkinkan integrasi komoditas dan aktor baru dengan mudah dan efisien, serta mendukung ekspansi bisnis ke pasar baru.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa pendekatan yang diadopsi dalam pengembangan sistem, khususnya dengan penerapan DSCI, memberikan solusi yang fleksibel, adaptif, dan skalabel. Pengujian ini sangat penting dalam memenuhi kebutuhan bisnis yang kompleks dan dinamis karena kebutuhan pasar dan kondisi operasional dapat berubah dengan cepat, memberikan keunggulan kompetitif dalam pasar yang cepat berubah dan meningkatkan efisiensi operasional.

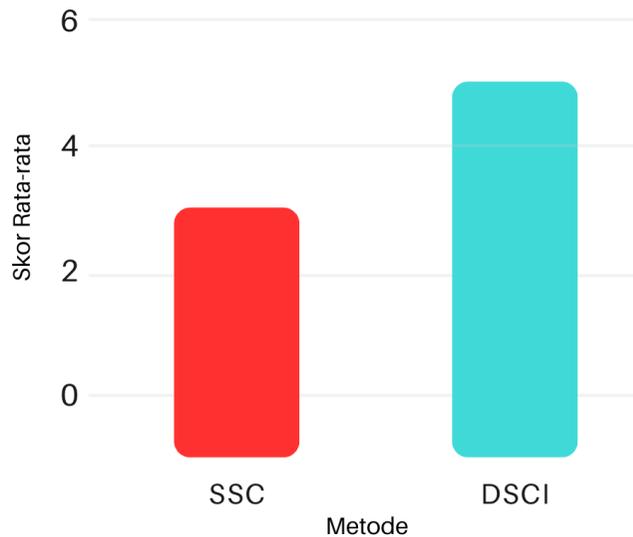
Setelah pengujian sebelumnya, tahap selanjutnya adalah pengujian agregasi, yang bertujuan membandingkan kinerja SSC dan DSCI dalam aspek operasional dan teknis. Tujuannya untuk menentukan metode mana yang lebih unggul berdasarkan kriteria tertentu, melibatkan analisis efisiensi, kecepatan, biaya, dan skalabilitas. Hasil pengujian agregasi disajikan dalam Tabel 4. Pengujian ini penting untuk memahami kelebihan dan keterbatasan masing-masing sistem dalam konteks nyata, memberikan wawasan bagi pengambil keputusan dalam menentukan strategi implementasi teknologi blockchain yang paling efektif untuk kebutuhan bisnis mereka, dan membantu memetakan arah pengembangan sistem rantai pasok berbasis blockchain di masa depan.

Tabel 4 Pengujian agregasi

Variabel	SSC	DSCI
Jumlah <i>User</i>	terbatas	Tidak terbatas
Waktu Respon	62 ms	62 ms
Biaya Transaksi	0.000042457 eth	0.000154631 eth
Latensi	92 ms	68 ms
Biaya Penyimpanan Data	0.000145889	0.000164338
Kecepatan Akses Data	179 ms	77 ms
Kecepatan Eksekusi Kode	73 ms	483 ms
Biaya Setup Awal	0.0025 eth	0.0061 eth
Kecepatan Verifikasi Transaksi	76 ms	76 ms
Fleksibilitas	2	5
Skalabilitas	2	5
Adaptabilitas	3	5
Kompleksitas Kode	2	5
Integrasi Eksternal	2	5
Keandalan	3	5
Interoperabilitas	2	5
Cakupan Fungsionalitas	2	5

Dalam pengujian ini, berbagai variabel diukur, termasuk waktu respon, biaya transaksi, latensi, kecepatan akses data, kecepatan eksekusi kode, dan sejumlah kriteria lainnya. Selain itu, beberapa variabel kategori seperti Jumlah *User* juga diukur, dengan SSC memiliki keterbatasan jumlah *user*, sedangkan DSCI tidak memiliki batasan.

Setelah data dikumpulkan, dilakukan analisis statistik deskriptif untuk mendapatkan gambaran umum mengenai distribusi skor dari kedua metode. Hasil analisis menunjukkan skor rata-rata untuk setiap metode, yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik batang untuk memudahkan perbandingan. Visualisasi hasil pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18 Hasil pengujian agregasi terhadap SSC dan DSCI

Berdasarkan hasil visualisasi, dapat dilihat bahwa DSCI memiliki skor rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan SSC, menunjukkan bahwa dalam sebagian besar kriteria yang diukur, DSCI menunjukkan kinerja yang lebih baik. Oleh karena itu, berdasarkan analisis agregasi, dapat disimpulkan bahwa DSCI lebih unggul dibandingkan SSC dalam konteks pengujian ini.

Dengan hasil pengujian tersebut, diharapkan dapat memberikan informasi yang objektif dan komprehensif mengenai kinerja dari kedua metode dalam konteks manajemen rantai pasok berbasis *blockchain* ini.

### 3.7 Evaluasi Prototipe

Dalam penelitian ini, prototipe yang dikembangkan bertujuan untuk memberikan representasi konkret dari sebagian model yang diusulkan. Meskipun demikian, penting untuk memahami bahwa prototipe ini tidak mencakup seluruh aspek dari model yang diusulkan. Oleh karena itu, evaluasi

ini akan fokus pada analisis mendalam terhadap hasil pengujian prototipe, keterbatasannya, serta relevansinya dengan model yang diusulkan.

### 3.7.1 Analisis Terhadap Hasil Pengujian

Dalam tahap pengujian, prototipe menunjukkan kualitas menjanjikan, terutama dalam penerapan Smart Contract Interaction (SCI) yang inovatif, menyajikan transparansi tinggi dalam manajemen rantai pasokan untuk komoditas seperti ikan dan kopi. Transparansi yang ditingkatkan oleh interaksi antara smart contract memungkinkan semua pihak yang terlibat untuk memiliki akses ke informasi yang akurat dan tepat waktu, memastikan setiap langkah dalam proses dapat dipantau dan diverifikasi secara otomatis dan real-time. Keamanan juga menjadi aspek penting, dengan adopsi teknologi blockchain dan implementasi SCI, prototipe menawarkan tingkat keamanan yang meningkat, meminimalkan risiko manipulasi data atau aktivitas curang.

Efisiensi operasional menjadi keunggulan lain yang diidentifikasi selama pengujian, dimana SCI memainkan peran penting dengan otomatisasi proses yang ditingkatkan melalui interaksi smart contract yang efisien, mempercepat transaksi dan meminimalkan hambatan dalam rantai pasokan. Meskipun hasil pengujian menunjukkan banyak keunggulan, ada pertimbangan tentang integrasi penuh SCI dalam prototipe, dengan kemungkinan beberapa fitur atau aspek dari model SCI belum diwujudkan. Hasil pengujian harus dilihat sebagai representasi dari apa yang telah dicapai oleh prototipe saat ini, termasuk implementasi awal dari SCI, bukan sebagai gambaran lengkap dari seluruh model yang diusulkan, memberikan arah untuk pengembangan lebih lanjut dalam mengoptimalkan interaksi antar smart contract.

### 3.7.2 Keterbatasan Prototipe

Dalam pengembangan prototipe, terdapat tantangan dan keterbatasan, termasuk ketidaksesuaian dengan model konseptual yang diusulkan, khususnya dalam kemampuan interaksi antar smart contract yang ditawarkan oleh SCI. Meskipun prototipe menangkap banyak fitur penting, termasuk aspek interaksi smart contract, beberapa elemen model SCI belum sepenuhnya diintegrasikan. Model SCI dirancang untuk beradaptasi dengan kebutuhan dan skenario masa depan, termasuk interaksi yang lebih kompleks antara smart contract, sehingga sulit menciptakan prototipe yang mencakup semua aspek model yang fleksibel dan adaptif. Prototipe berfungsi sebagai alat validasi ide dan konsep SCI, serta mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan atau penyesuaian lebih lanjut dalam konteks SCI, bukan sebagai implementasi lengkap dari model, termasuk semua aspek SCI. Keterbatasan ini memberikan panduan berharga untuk tahap pengembangan berikutnya, memastikan integrasi fitur dan fungsionalitas SCI yang hilang untuk mencapai interaksi yang diinginkan antar smart contract.

### 3.7.3 Relevansi dengan Model yang Diusulkan

Dalam perjalanan dari konsep ke realisasi, sering terjadi perbedaan antara model yang diusulkan dan prototipe yang diwujudkan. Namun, prototipe yang dikembangkan berhasil mencerminkan elemen kunci seperti penerapan DSCI untuk manajemen aktor dan otoritas yang dinamis. Prototipe menunjukkan fleksibilitas dalam manajemen aktor dan otoritas melalui DSCI, memungkinkan adaptasi cepat terhadap perubahan kondisi operasional dan pasar, seperti penyesuaian harga komoditas secara real-time dan penambahan jenis komoditas baru. Meskipun ada beberapa aspek model yang belum sepenuhnya diwujudkan dalam prototipe, seperti potensi interaksi smart contract yang lebih lanjut, ini dianggap sebagai peluang untuk pengembangan lebih lanjut, bukan kekurangan. Prototipe memberikan dasar yang kokoh untuk iterasi dan perbaikan lebih lanjut dalam penerapan DSCI, menunjukkan kelayakan teknis dan potensi praktisnya dalam konteks pertanian, serta memberikan wawasan berharga untuk pengembangan lebih lanjut dan penerapan skala penuh.

### 3.7.4 Dampak Prototipe Terhadap Objek Penelitian

Penggunaan Dynamic Smart Contracts (DSC) dalam prototipe manajemen rantai pasokan untuk komoditas seperti ikan dan kopi telah memungkinkan penyesuaian harga secara real-time, sangat penting dalam merespons fluktuasi pasar. Fleksibilitas ini membantu pemangku kepentingan dalam menyesuaikan strategi harga mereka dan memastikan penawaran mereka tetap relevan dan kompetitif. Penerapan Dynamic Smart Contract Interaction (DSCI) telah meningkatkan transparansi dan keamanan dalam manajemen rantai pasokan, memungkinkan akses ke informasi yang akurat dan tepat waktu, serta meminimalkan risiko manipulasi data.

Meskipun prototipe belum sepenuhnya mencakup semua fitur model yang diusulkan, ia telah menunjukkan bagaimana DSCI dapat meningkatkan manajemen rantai pasokan dengan memberikan fleksibilitas, adaptabilitas, dan efisiensi yang lebih besar. Prototipe ini membuka jalan bagi penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk sepenuhnya mewujudkan potensi DSCI dalam konteks yang lebih luas dan beragam, terutama dalam meningkatkan transparansi, keamanan, dan efisiensi operasional pada rantai pasok kopi dan ikan.

## IV SIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Simpulan

Dalam penelitian ini, salah satu inovasi kunci yang diusulkan adalah penerapan *key-value store* sebagai dasar dari *Dynamic Smart Contract Interaction* (DSCI). *Format* ini tidak hanya memungkinkan fleksibilitas yang belum pernah ada sebelumnya dalam manajemen rantai pasokan tetapi juga memfasilitasi interaksi yang lebih lancar dan efisien antara berbagai *smart contract* yang terlibat. Ini menjadi pembeda utama antara DSCI dan pendekatan *smart contract* tradisional, dengan memungkinkan adaptasi cepat terhadap perubahan dan kebutuhan yang muncul. *Key-value store* dalam konteks SCI, menawarkan solusi yang lebih dinamis dan responsif untuk tantangan manajemen rantai pasokan kontemporer, dengan kemampuan untuk memicu dan merespons *event* antar *smart contract* secara *real-time*.

Berdasarkan pendekatan ini, penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah prototipe berbasis *blockchain* untuk manajemen rantai pasokan komoditas ikan dan kopi yang mengintegrasikan SCI. Hasil awal menunjukkan bahwa prototipe ini menawarkan peningkatan signifikan dalam hal transparansi, keamanan, dan efisiensi, serta kemampuan interaksi *smart contract* yang lebih kompleks dan adaptif. Meskipun demikian, ada beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, terutama ketidaksinkronannya dengan seluruh model yang diusulkan. Namun, beberapa aspek kunci dari model, seperti manajemen aktor yang dinamis dan interaksi konsumen yang diperkaya dengan SCI, telah berhasil diwujudkan dalam prototipe, menunjukkan potensi besar dari pendekatan ini dalam memperkaya ekosistem *blockchain*.

### 4.2 Saran

Berdasarkan evaluasi terhadap prototipe, beberapa saran penting muncul untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, meskipun telah berhasil mengimplementasikan *key-value store*, antarmuka pengguna perlu ditingkatkan agar *lebih user-friendly*. Kedua, integrasi dengan sistem seperti ERP atau CRM dapat meningkatkan otomatisasi dan adaptabilitas. Ketiga, pengujian skala lebih lanjut diperlukan untuk menjamin responsivitas dalam skenario beban tinggi. Keempat, pendidikan dan pelatihan bagi semua pemangku kepentingan esensial untuk memaksimalkan pemanfaatan sistem. Kelima, mengingat sifat dinamis dari model yang diusulkan, ada potensi risiko penyalahgunaan *smart contract*. Oleh karena itu, penting untuk memiliki mekanisme pengawasan dan audit yang ketat. Selain itu, pendidikan mengenai keamanan dan etika dalam penggunaan *blockchain* harus ditingkatkan. Sebagai tambahan, fitur "*whitelisting*" atau "*blacklisting*" dapat menjadi pertimbangan untuk membatasi entitas yang dapat membuat atau memodifikasi *smart contract*, memberikan lapisan keamanan tambahan pada sistem tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Busaidi MA, Jukes DJ, Bose S. 2016. Seafood safety and quality: An analysis of the supply chain in the Sultanate of Oman. *Food Control*. 59:651–662. doi:10.1016/j.foodcont.2015.06.023.
- Alonso RS, Sittón-Candanedo I, García Ó, Prieto J, Rodríguez-González S. 2020. An intelligent Edge-IoT platform for monitoring livestock and crops in a dairy farming scenario. *Ad Hoc Networks*. 98. doi:10.1016/j.adhoc.2019.102047.
- El Amine BM, Lamia S-T. 2023. Blockchain Adoption for a Sustainable Agricultural Supply Chain: Opportunities and Challenges for the Dairy Industry. Di dalam: *2023 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA)*. hlm 331–336.
- Asif M, Aziz Z, Bin Ahmad M, Khalid A, Waris HA, Gilani A. 2022. Blockchain-Based Authentication and Trust Management Mechanism for Smart Cities. *Sensors*. 22(7):1–26. doi:10.3390/s22072604.
- Ayan B, Güner E, Son-Turan S. 2022. Blockchain Technology and Sustainability in Supply Chains and a Closer Look at Different Industries: A Mixed Method Approach. *Logistics*. 6(4):85. doi:10.3390/logistics6040085.
- Bhat SA, Huang NF, Sofi IB, Sultan M. 2022. Agriculture-Food Supply Chain Management Based on Blockchain and IoT: A Narrative on Enterprise Blockchain Interoperability. *Agric*. 12(1). doi:10.3390/agriculture12010040.
- Branco F, Moreira F, Martins J, Au-Yong-Oliveira M, Gonçalves R. 2019. Conceptual Approach for an Extension to a Mushroom Farm Distributed Process Control System: IoT and Blockchain. *Adv Intell Syst Comput*. 930:738–747. doi:10.1007/978-3-030-16181-1\_69.
- Burggräf P, Wagner J, Weißer T. 2020. Knowledge-based problem solving in physical product development—A methodological review. *Expert Syst with Appl X*. 5:100025. doi:10.1016/j.eswax.2020.100025.
- Cao S, Powell W, Foth M, Natanelov V, Miller T, Dulleck U. 2021. Strengthening consumer trust in beef supply chain traceability with a blockchain-based human-machine reconcile mechanism. *Comput Electron Agric*. 180 Query date: 2022-11-05 21:46:21:105886. doi:10.1016/j.compag.2020.105886.
- Carson B, Romanelli G, Walsh P, Zhumaev A. 2018. Blockchain beyond the hype: What is the strategic business value? *McKinsey Q*. 2018(4):118–127. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/blockchain-beyond-the-hype-what-is-the-strategic-business-value>.
- Chen L, Xu L, Gao Z, Lu Y, Shi W. 2018. Protecting Early Stage Proof-of-Work Based Public Blockchain. Di dalam: *Proceedings - 48th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and*

- Networks Workshops, DSN-W 2018*. IEEE. hlm 122–127.
- Chopra A, Shukla VK. 2022. Application of Disruptive Technology in Food Trackability. *ICT Data Sci*. Query date: 2022-11-06 00:05:08:47–62. doi:10.1201/9781003048862-5.
- Chowdhury MJM, Ferdous MS, Biswas K, Chowdhury N, Muthukkumarasamy V. 2020. A survey on blockchain-based platforms for IoT use-cases. *Knowl Eng Rev*. 35 Query date: 2022-11-05 21:46:21:1–22. doi:10.1017/S0269888920000284.
- Dolgui A, Ivanov D, Potryasaev S, Sokolov B, Ivanova M, Werner F. 2020. Blockchain-oriented dynamic modelling of smart contract design and execution in the supply chain. *Int J Prod Res*. 58(7):2184–2199. doi:10.1080/00207543.2019.1627439.
- Dutta P, Choi TM, Somani S, Butala R. 2020. Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transp Res Part E Logist Transp Rev*. 142 August:102067. doi:10.1016/j.tre.2020.102067.
- Ehsan I, Irfan Khalid M, Ricci L, Iqbal J, Alabrah A, Sajid Ullah S, Alfakih TM. 2022. A Conceptual Model for Blockchain-Based Agriculture Food Supply Chain System. *Sci Program*. 2022 Query date: 2022-11-05 21:45:50. doi:10.1155/2022/7358354.
- Garrard R, Fielke S. 2020. Blockchain for trustworthy provenances: A case study in the Australian aquaculture industry. *Technol Soc*. 62:101298. doi:10.1016/j.techsoc.2020.101298.
- Ghaffari F, Bertin E, Crespi N, Behrad S, Hatin J. 2021. A Novel Access Control Method Via Smart Contracts for Internet-Based Service Provisioning. *IEEE Access*. 9:81253–81273. doi:10.1109/ACCESS.2021.3085831.
- Gopi K, Mazumder D, Sammut J, Saintilan N. 2019. Determining the provenance and authenticity of seafood: A review of current methodologies. *Trends Food Sci Technol*. 91 July:294–304. doi:10.1016/j.tifs.2019.07.010.
- Griffin TW, Harris KD, Ward JK, Goeringer P, Richard JA. 2022. Three Digital Agriculture Problems in Cotton Solved by Distributed Ledger Technology. *Appl Econ Perspect Policy*. 44(1):237–252. doi:10.1002/aep.13142.
- Gu F, Yu X. 2022. Profit distribution mechanism of agricultural supply chain based on fair entropy. *PLoS One*. 17(7):e0271693. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271693>.
- Haendler T. 2018. On using UML Diagrams to Identify and Assess Software Design Smells. January 2018:447–455. doi:10.5220/0006938504470455.
- Haldar T, Damodaran A. 2022. Identifying market power of retailers and processors: Evidence from coffee supply chain in India. *IIMB Manag Rev*. 34(3):286–296. doi:10.1016/j.iimb.2022.09.002.
- Hu S, Huang S, Huang J, Su J. 2021. Blockchain and edge computing

- technology enabling organic agricultural supply chain: A framework solution to trust crisis. *Comput Ind Eng.* 153 Query date: 2022-11-05 21:46:21. doi:10.1016/j.cie.2020.107079.
- Huang Y, Wang B, Wang Y. 2021. Research and Application of Smart Contract Based on Ethereum Blockchain. *J Phys Conf Ser.* 1748(4):42016. doi:10.1088/1742-6596/1748/4/042016.
- Iqbal R, Butt TA. 2020. Safe farming as a service of blockchain-based supply chain management for improved transparency. *Cluster Comput.* 23(3):2139–2150. doi:10.1007/s10586-020-03092-4.
- Kamble SS, Gunasekaran A, Gawankar SA. 2020. Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications. *Int J Prod Econ.* 219 Query date: 2022-11-05 21:46:21:179–194. doi:10.1016/j.ijpe.2019.05.022.
- Keulen M van, Kirchherr J. 2021. The implementation of the Circular Economy: Barriers and enablers in the coffee value chain. *J Clean Prod.* 281:125033. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125033.
- Koné S, Galiegue X. 2023. Potential Development of Biochar in Africa as an Adaptation Strategy to Climate Change Impact on Agriculture. *Environ Manage.* 72(6):1189–1203. doi:10.1007/s00267-023-01821-0.
- Larissa S, Parung J. 2021. Designing supply chain models with blockchain technology in the fishing industry in Indonesia. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 1072(1):012020. doi:10.1088/1757-899x/1072/1/012020.
- Li X, Wang D, Li M. 2020. Convenience analysis of sustainable E-agriculture based on blockchain technology. *J Clean Prod.* 271:122503. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122503.
- Lin SY, Zhang L, Li J, Ji L li, Sun Y. 2022. A survey of application research based on blockchain smart contract. *Wirel Networks.* 28(2):635–690. doi:10.1007/s11276-021-02874-x.
- Liu S, Mohsin F, Xia L, Seneviratne O. 2019. Strengthening smart contracts to handle unexpected situations. *Proc - 2019 IEEE Int Conf Decentralized Appl Infrastructures, DAPPCON 2019.*, siap terbit.
- Lozano AJG, Decker Sparks JL, Durgana DP, Farthing CM, Fitzpatrick J, Krough-Poulsen B, McDonald G, McDonald S, Ota Y, Sarto N, *et al.* 2022. Decent work in fisheries: Current trends and key considerations for future research and policy. *Mar Policy.* 136:104922. doi:10.1016/j.marpol.2021.104922.
- Malarvizhi P. 2019. Interventions to scale-up palmpreneurship in Tamilnadu. *Int J Recent Technol Eng.* 8 2 Special Issue 8:1485–1488. doi:10.35940/ijrte.B1087.0882S819.
- Malta I, Nguyen H, Do L. 2018. *THE ADOPTION OF BLOCKCHAIN IN FOOD RETAIL SUPPLY CHAIN Case: IBM Food Trust Blockchain and the Food Retail Supply Chain The adoption of blockchain in food retail supply chain Case: IBM Food Trust Blockchain and the food retail supply chain in Malta Bachel.* theseus.fi.

- <https://www.theseus.fi/handle/10024/158615>.
- Murthy PS, Naidu MM. 2012. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. *Resour Conserv Recycl.* 66:45–58. doi:10.1016/j.resconrec.2012.06.005.
- Neethirajan S, Kemp B. 2021. Digital Livestock Farming. *Sens Bio-Sensing Res.* 32:100408. doi:10.1016/j.sbsr.2021.100408.
- Nguyen GNT, Sarker T. 2018. Sustainable coffee supply chain management: a case study in Buon Me Thuot City, Daklak, Vietnam. *Int J Corp Soc Responsib.* 3(1):1. doi:10.1186/s40991-017-0024-x.
- Niknejad N, Ismail W, Bahari M, Hendradi R, Salleh AZ. 2021. Mapping the research trends on blockchain technology in food and agriculture industry: A bibliometric analysis. *Environ Technol Innov.* 21 Query date: 2022-11-05 21:46:21:101272. doi:10.1016/j.eti.2020.101272.
- Niu B, Shen Z, Xie F. 2021. The value of blockchain and agricultural supply chain parties' participation confronting random bacteria pollution. *J Clean Prod.* 319 Query date: 2022-11-05 21:46:21:128579. doi:10.1016/j.jclepro.2021.128579.
- Patel H, Shrimali B. 2023. AgriOnBlock: Secured data harvesting for agriculture sector using blockchain technology. *ICT Express.* 9(2):150–159. doi:10.1016/j.icte.2021.07.003.
- Patro PK, Jayaraman R, Salah K, Yaqoob I. 2022. Blockchain-Based Traceability for the Fishery Supply Chain. *IEEE Access.* 10 July:81134–81154. doi:10.1109/ACCESS.2022.3196162.
- Payan CV, Grass-Ramirez JF, Ramirez-Gonzalez G, Corrales JC. 2022. A Smart Contract for Coffee Transport and Storage With Data Validation. *IEEE Access.* 10:37857–37869. doi:10.1109/ACCESS.2022.3165087.
- Powell P, Walsham G. 1993. *Interpreting Information Systems in Organizations*. Ed ke-1st. Volume ke-44. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Rijanto A. 2021. Blockchain technology adoption in supply chain finance. *J Theor Appl Electron Commer Res.* 16(7):3078–3098. doi:10.3390/jtaer16070168.
- Salah K, Nizamuddin N, Jayaraman R, Omar M. 2019. Blockchain-Based Soybean Traceability in Agricultural Supply Chain. *IEEE Access.* 7 Query date: 2022-11-05 21:46:21:73295–73305. doi:10.1109/ACCESS.2019.2918000.
- Saurabh S, Dey K. 2021. Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable agri-food supply chains. *J Clean Prod.* 284 xxxx:124731. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124731.
- Shih DH, Lu KC, Shih YT, Shih PY. 2019. A simulated organic vegetable production and marketing environment by using ethereum. *Electron.* 8(11). doi:10.3390/electronics8111341.
- Sonbol K, Özkasap Ö, Al-Oqily I, Aloqaily M. 2020. EdgeKV: Decentralized, scalable, and consistent storage for the edge. *J Parallel Distrib Comput.* 144:28–40. doi:10.1016/j.jpdc.2020.05.009.

- Sutanto E, Mulyana R, Arisgraha FCS, Escrivá-Escrivá G. 2022. Integrating Blockchain for Health Insurance in Indonesia with Hash Authentication. *J Theor Appl Electron Commer Res.* 17(4):1602–1615. doi:10.3390/jtaer17040081.
- Tafesse A, Gechere G, Asale A, Belay A, Recha JW, Aynekulu E, Berhane Z, Osano PM, Demissie TD, Solomon D. 2023. Determinants of maize farmers market participation in Southern Ethiopia: Emphasis on demographic, socioeconomic and institutional factors. *Cogent Food Agric.* 9(1):2191850. doi:10.1080/23311932.2023.2191850.
- Unhelkar B. 2017 Jan 1. Software engineering with UML. *Softw Eng with UML.*, siap terbit.
- Vingerhoets AS, Heng S, Wautelet Y. 2021. Using i\* and UML for Blockchain Oriented Software Engineering: Strengths, Weaknesses, Lacks and Complementarity. *Complex Syst Informatics Model Q.*(26):26–45. doi:10.7250/csimq.2021-26.02.
- Xie L, Luo B, Zhong W. 2021. How Are Smallholder Farmers Involved in Digital Agriculture in Developing Countries: A Case Study from China. *Land.* 10(3). doi:10.3390/land10030245.
- Zhaoliang L, Huang W, Wang D. 2021. Functional agricultural monitoring data storage based on sustainable block chain technology. *J Clean Prod.* 281. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124078.

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di kota Bogor pada tanggal 16 bulan Mei tahun 1992 sebagai anak ke 1 dari pasangan bapak Ujang Maman dan ibu Mulya Warni. Pendidikan sarjana ditempuh di Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Nasional PASIM, dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2016, penulis diterima sebagai mahasiswa program magister (S-2) di Program Studi Ilmu Komputer pada Sekolah Pascasarjana Universitas Nusa Mandiri dan menamatkannya pada tahun 2019. Kesempatan untuk melanjutkan ke program doktor pada program studi Ilmu Komputer Pascasarjana FMIPA IPB diperoleh pada tahun 2020 dengan biaya sendiri.

Penulis bekerja sebagai dosen di Universitas Nusa Mandiri sejak tahun 2019 dan ditempatkan di Jakarta. Selain itu, selama kariernya, Penulis juga telah memimpin dan berpartisipasi dalam berbagai proyek penelitian dan pengembangan, serta memberikan pelatihan dalam bidang Data Science dan Machine Learning. Penulis merupakan penerima sertifikasi instruktur nasional dan sertifikasi internasional dari Microsoft Technology Associate di bidang Database Fundamental. Pengalamannya dalam industri IT meliputi posisi sebagai kepala program rekayasa perangkat lunak, kepala teknologi informasi dan komunikasi, serta staff database engineer dan data analyst.

Selama mengikuti program S-3, penulis aktif menulis buku ajar dan telah menerbitkan 6 buku dari tahun 2020 hingga 2024. Karya ilmiah berjudul Blockchain-Based Key-Value Store to Support Dynamic Smart Contract Interaction in the Agricultural Sector telah disajikan pada dipublikasikan pada Jurnal Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. Selain itu, karya ilmiah lainnya yang berjudul AniraBlock: A Leap Towards Dynamic Smart Contracts in Agriculture Using Blockchain Based Key-value store Framework juga diterbitkan pada Jurnal Communications in Science and Technology. Karya-karya ilmiah tersebut merupakan bagian dari program S-3 penulis.