

# **RANCANG BANGUN SISTEM RANTAI PASOK CERDAS TANDAN BUAH SEGAR KELAPA SAWIT PETANI SWADAYA BERBASIS BLOCKCHAIN DAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

**KURSEHI FALGENTI**



**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**



*@Hak cipta milik IPB University*

IPB University



IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## **PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Rancang Bangun Sistem Rantai Pasok Cerdas Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Petani Swadaya Berbasis Blockchain dan Artificial Intelligence” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada Perguruan Tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, 30 Juli 2024

Kursehi Falgenti  
F361190221

## RINGKASAN

KURSEHI FALGENTI. Rancang Bangun Sistem Rantai Pasok Cerdas Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Petani Swadaya Berbasis Blockchain dan Artificial Intelligence. Dibimbing oleh YANDRA ARKEMAN, KHASWAR SYAMSU DAN ERLIZA HAMBALI.

Petani sawit swadaya berperan penting sebagai pemasok Tandan Buah Segar (TBS) dalam mendukung hilirisasi sawit. Petani sawit swadaya juga berkontribusi 9% terhadap kebutuhan produksi *Crude Palm Oil* (CPO) dunia. Pengesahan *European Union Deforestation Regulation* (EUDR) oleh Parlemen Uni Eropa (UE) akan mengurangi peran petani swadaya dalam menghasilkan produk turunan CPO untuk tujuan ekspor. EUDR hanya menerima produk turunan dari tujuh komoditas pertanian dan hutan yang berasal dari rantai pasok yang bebas deforestasi dan dapat ditelusuri. *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO) telah membangun *Platform Online PalmTrace* untuk melacak asal minyak sawit berkelanjutan yang tersertifikasi; namun demikian *platform* ini tidak mampu melacak kebun petani swadaya yang legal tetapi belum bersertifikat.

Hanya TBS dari kelompok kebun legal dan dapat ditelusuri yang menjadi bagian dari rantai pasok TBS bebas deforestasi untuk tujuan ekspor ke UE. Sebagai syarat kepatuhan EUDR TBS dari kelompok kebun legal milik petani swadaya harus disegregasi. Pemisahan fisik TBS ini juga diikuti dengan pemisahan molekul CPO. Oleh karena itu, produksi CPO dari kebun legal harus dipisahkan dari produksi CPO dari kebun yang legalitasnya tidak diketahui.

Pengelompokkan kebun, segregasi transportasi TBS dan ketertelusuran produksi CPO sampai ke kebun petani swadaya merupakan pekerjaan kompleks. Butuh banyak inovasi untuk melakukan transformasi sistem rantai pasok TBS konvensional berorientasi input internal dan eksternal menjadi sistem rantai pasok cerdas TBS. Inovasi dengan dukungan teknologi maju industri 4.0 Artificial Intelligence (AI) dan Blockchain mempercepat transformasi digital.

Penelitian ini bertujuan membangun prototipe sistem ketertelusuran produksi CPO sampai ke kebun petani swadaya. Pengembangan layanan sistem ketertelusuran dengan melakukan berbagai inovasi cerdas menggunakan teknologi maju Industri 4.0, AI, dan Blockchain. Tahap pertama penelitian melakukan inovasi mengelompokkan kebun, transportasi, dan penimbangan TBS terdiri dari empat kegiatan: 1) melakukan penilaian implementasi keberlanjutan menggunakan *gap analysis* di 318 kebun sawit milik 250 petani swadaya di Kecamatan Tambusai, Kabupaten Rokan Hulu. Lima variabel keberlanjutan pada dimensi ekonomi (Luas kebun, Pembeli TBS, Kepemilikan truk, Bibit sawit dan Kepemilikan SKT), dimensi sosial (Pendidikan petani, Kepemilikan kartu jaminan sosial, Jumlah tanggungan keluarga, Jarak rumah sakit terdekat, Ketersediaan fasilitas MCK/sanitasi di rumah), dimensi lingkungan (Kekurangan unsur hara, Cara membuka lahan, Piringan sawit, Status kebun sebelum ditanam sawit, Jarak rumah ke kebun). Outputnya adalah nilai kesenjangan pada dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. 2) Membangun model klaster dari 318 kebun berdasarkan data nilai kesenjangan pada dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan menggunakan *machine learning*. Teknik analisis data adalah *cluster analysis*

menggunakan algoritma *k-means*. Output dari *cluster analysis* adalah kelompok kebun terpercaya, kebun potensial, dan kebun kurang potensial. 3) membangun model penjadwalan timbang truk TBS dari kebun terpercaya menggunakan metode *terminal appointment system* (TAS). Data untuk membangun model penjadwalan truk terdiri dari nomor plat, jenis pembongkaran muatan, waktu penjadwalan. Outputnya adalah penimbangan truk TBS yang terjadwal menghindari fluktuasi kedatangan truk penyebab kemacetan di jembatan timbang. 4) Membangun model segregasi dan prioritas timbang truk TBS menggunakan sistem inferensi *fuzzy* Mamdani. Variabel input sistem inferensi *fuzzy* Mamdani adalah: asal kebun, lama keterlambatan, dan kecepatan bongkar muatan. Output hasil inferensi adalah prioritas timbang tinggi, sedang, dan rendah.

Tahap kedua mengembangkan prototipe rantai pasok cerdas terdiri dari layanan *offchain* dan layanan *onchain* yang memiliki kemampuan penelusuran sampai ke kebun sawit petani swadaya. Tahap ini terdiri dari tiga iterasi. Iterasi pertama menghasilkan layanan *offchain* berupa prototipe sistem informasi transportasi TBS. Iterasi kedua menghasilkan *service backend application program interface* (API) panen, penjadwalan, segregasi, prioritas timbang TBS dan API produksi CPO. Iterasi ketiga menghasilkan prototipe layanan *onchain* jaringan Blockchain Hyperledger Fabric (HLF) dan chaincode SawitRakyat. Sistem ketertelusuran bekerja dengan mengidentifikasi: unik ID ID\_panen pada transaksi panen, unik ID No\_SPB (Surat Pengantaran Buah) pada transaksi transportasi, dan unik ID No\_Batch produksi pada transaksi produksi. Proses bisnis mulai dari panen di 22 kebun terpercaya hingga penimbangan truk TBS untuk memproduksi CPO berkualitas tinggi yang dapat ditelusuri berhasil diuji coba pada jaringan blockchain sawit rakyat di layanan *cloud service*. Penelusuran histori transaksi Blockchain panen dari kebun sampai ke PKS berhasil dilakukan menggunakan aplikasi pengujian API Postman.

Metode baru penelusuran legalitas kebun dan implementasi keberlanjutan di kebun petani swadaya dengan cara mengelompokkan kebun, melakukan segregasi transportasi TBS, menjadwalkan dan memprioritaskan penimbangan truk TBS menggunakan AI. Pencatatan panen sampai produksi CPO berkualitas tinggi di *ledger* terdistribusi dalam jaringan tersentralisasi blockchain hyperledger fabric menjadikan sistem ketertelusuran sampai ke kebun petani swadaya lebih transparan dan terpercaya. Kombinasi teknologi AI blockchain menghasilkan banyak inovasi mendukung transformasi digital membangun sistem ketertelusuran produksi CPO sampai ke kebun dalam rantai pasok cerdas TBS petani swadaya.

Hasil analisis klaster, hanya 22 kebun terpercaya atau 7% milik petani swadaya yang mengimplementasikan praktek keberlanjutan. Menghadapi tantangan ini, perlu usaha maksimal melibatkan lebih banyak koperasi agar lebih banyak teridentifikasi kebun terpercaya milik petani swadaya.

Pengembangan sistem ketertelusuran CPO sampai ke kebun petani swadaya menjadikan agroindustri sawit Indonesia tidak hanya berorientasi pasar yang fokus pada hilirisasi, tetapi juga adaptif terhadap perubahan iklim. Agroindustri Indonesia semakin dipercaya oleh pelanggan di negara maju dan petani swadaya semakin banyak berkontribusi menghasilkan produk turunan CPO tujuan ekspor.

**Keywords:** blockchain, kecerdasan buatan, rantai pasok cerdas, sistem ketertelusuran. .

## SUMMARY

KURSEHI FALGENTI. Design and Build a Smart Supply Chain System for Oil Palm Fresh Fruit Bunches of Independent Smallholders Based on Blockchain and Artificial Intelligence. Supervised by YANDRA ARKEMAN, KHASWAR SYAMSU DAN ERLIZA HAMBALI.

Independent oil palm farmers play a crucial role as suppliers of Fresh Fruit Bunches (FFB) in supporting palm oil downstream processing. They contribute 9% to the global production of Crude Palm Oil (CPO). The enactment of the European Union Deforestation Regulation (EUDR) by the European Union (EU) Parliament will diminish the role of independent farmers in producing CPO derivatives for export. EUDR only accepts derivative products from seven agricultural and forestry commodities originating from deforestation-free and traceable supply chains. The Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO) has developed the PalmTrace Online Platform to track the origin of certified sustainable palm oil; however, this platform cannot track legal but uncertified smallholder farms.

Only FFB from legal and traceable smallholder farms can be part of the deforestation-free supply chain for export to the EU. As a compliance requirement of EUDR, FFB from legal smallholder farms must be segregated. This physical segregation of FFB must also be accompanied by the segregation of CPO molecules. Therefore, CPO production from legal farms must be separated from CPO production from farms of unknown legality.

Grouping farms, segregating FFB transport, and tracing CPO production back to smallholder farms is a complex task. It requires significant innovation to transform the conventional internal and external input-oriented FFB supply chain system into an intelligent FFB supply chain system. Innovations supported by advanced Industry 4.0 technologies, artificial intelligence (AI), and Blockchain accelerate digital transformation.

This research aims to build a prototype of a CPO production traceability system up to smallholder farms. The development of traceability system services involves various intelligent innovations using advanced Industry 4.0, AI, and Blockchain technologies. The first phase of the research involves innovating in farm grouping, transport, and FFB weighing, consisting of four activities: 1) Conducting a sustainability implementation assessment using gap analysis on 318 oil palm farms owned by 250 independent farmers in Tambusai District, Rokan Hulu Regency. Five sustainability variables in the economic dimension (Farm size, FFB buyers, Truck ownership, Oil palm seedlings, and SKT ownership), social dimension (Farmer education, Social security card ownership, Number of family dependents, Distance to the nearest hospital, Availability of MCK/sanitation facilities at home), and environmental dimension (Nutrient deficiency, Land clearing method, Oil palm circles, Farm status before planting oil palm, Distance from home to farm). The output is the gap values in the economic, social, and environmental dimensions. 2) Building a clustering model from 318 farms based on gap values in the economic, social, and environmental dimensions using machine learning. The data analysis technique is cluster analysis using the k-means algorithm. The output from the cluster analysis is groups of

trusted farms, potential farms, and less potential farms. 3) Building a truck weighing scheduling model for FFB from trusted farms using the terminal appointment system (TAS) method. Data for building the truck scheduling model consists of license plate number, load unloading type, and scheduling time. The output is scheduled FFB truck weighing to avoid fluctuations in truck arrivals causing congestion at the weighing bridge. 4) Building a truck weighing segregation and priority model using the Mamdani fuzzy inference system. The input variables of the Mamdani fuzzy inference system are: farm origin, delay duration, and loading/unloading duration. The inference output is high, medium, and low weighing priority.

The second phase develops a prototype of an intelligent supply chain consisting of offchain and onchain services with traceability capabilities up to smallholder oil palm farms. This phase consists of three iterations. The first iteration produces offchain services in the form of a prototype FFB transport information system. The second iteration produces backend service application program interfaces (APIs) for harvesting, scheduling, segregation FFB, and CPO production APIs. The third iteration produces a prototype onchain service for the Hyperledger Fabric (HLF) Blockchain network and SawitRakyat chaincode. The traceability system works by identifying: unique ID panen\_ID on harvest transactions, unique No\_SPB (Fruit Delivery Letter) on transport transactions, and unique NoBatch ID on production transactions. The business process from harvesting in 22 trusted farms to weighing FFB trucks to produce high-quality traceable CPO was successfully tested on the SawitRakyat blockchain network on cloud services. Blockchain transaction history tracing from the farm to the PKS was successfully conducted using the Postman API testing application.

A new method for tracing farm legality and sustainability implementation in smallholder farms by grouping farms, segregating FFB transport, scheduling and prioritizing FFB truck weighing using AI. Recording harvests to high-quality CPO production in a distributed ledger in the centralized hyperledger fabric blockchain network makes the traceability system to smallholder farms more transparent and trustworthy. The combination of AI and blockchain technologies results in many innovations supporting the digital transformation to build a CPO production traceability system to farms within the intelligent FFB supply chain for smallholder farmers.

Cluster analysis results show only 22 trusted farms or 7% of smallholder farms implement sustainable practices and are part of the deforestation-free FFB supply chain. In facing this challenge, maximum efforts are needed to involve more cooperatives so that more trusted farms owned by independent farmers can be identified.

The development of a CPO traceability system to smallholder farms makes the Indonesian palm oil agroindustry not only market-oriented focusing on downstream processing but also adaptive to climate change. The Indonesian agroindustry is increasingly trusted by customers in developed countries, and smallholder farmers contribute more to producing CPO derivatives for export.

Keywords: artificial intelligence, blockchain, smart supply chain, traceability system=



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.*





*@Hak cipta milik IPB University*

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

# **RANCANG BANGUN SISTEM RANTAI PASOK CERDAS TANDAN BUAH SEGAR KELAPA SAWIT PETANI SWADAYA BERBASIS *BLOCKCHAIN* DAN *ARTIFICIAL INTELLIGENCE***

**KURSEHI FALGENTI**

Disertasi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Doktor pada  
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



*@Hak cipta milik IPB University*

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

**Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:**

- 1 Dr. Ir. Sapta Raharja, DEA
- 2 Irman Hermadi, S.Kom, M.S., Ph.D

**Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:**

- 1 Dr. Ir. Sapta Raharja, DEA
- 2 Irman Hermadi, S.Kom, M.S., Ph.D



*@Hak cipta milik IPB University*

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Rancang Bangun Sistem Rantai Pasok Cerdas Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Petani Swadaya Berbasis Blockchain dan *Artificial Intelligence*

Nama : Kursehi Falgenti

NIM : F361190221

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Yandra Arkemen, M, Eng



Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir Khaswar Syamsu, MSi



Pembimbing 3:

Prof. Dr. Erliza Hambali



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir Illah Sailah, MS

NIP 195805211982112001

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian :

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M. Agr

NIP 196105021986031001

Tanggal Ujian: 1 Juli 2024

Tanggal Lulus:



## 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 ini ialah rantai pasok cerdas, dengan judul “Rancang Bangun Sistem Rantai Pasok Cerdas Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Petani Swadaya Berbasis Blockchain dan *Artificial Intelligence*”. Penelitian dilaksanakan sejak bulan Agustus 2022 sampai bulan Desember 2023.

Ungkapan terima kasih disampaikan kepada Papa Ermal DT. Sipado (Alm) Ibunda Huda Hanim, Istri tercinta Dr. Fitri Amalia M.SI, beserta ananda Dhia Alfikra, Faris Faeyza Al-Ghifari, dan Fazza Dhia Alfarizqi yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Terimakasih yang sebesar-besarnya juga disampaikan kepada Kakanda Ritma Tetiayani yang telah mendukung baik materi dan non materi dalam penyelesaian studi ini, Kakanda Sutheri Fokalgi dan Adinda Hashade Tebergia yang juga mendukung penelitian disertasi ini.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Yandra Arkeman, M. Eng, Prof. Dr. Ir. Khaswar Syamsu, MSc dan Prof. Dr. Erliza Hambali, yang telah membimbing dan banyak memberi saran perbaikan disertasi dan publikasi. Semoga amalan Bapak/Ibu sekalian dibalas dengan pahala yang berlipat ganda oleh Allah SWT. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Illah Sailah, M.S. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Pertanian serta Bapak/Ibu dewan penguji Disertasi. Ungkapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan seperjuangan yang senantiasa berbagi ilmu selama kegiatan perkuliahan dan penelitian. Semoga segala bantuan dan dukungannya diberikan pahala oleh Allah SWT. Aamiin Ya Rabbal Alamiin. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Pengurus Serikat Petani Kelapa Sawit Indonesia (SPKS), Bapak Mansuetus Darto Sebagai Sekjen SPKS, Bapak Yusro Fadli Sebagai Ketua SPKS Rokan Hulu beserta Pengurus SPKS lainnya yang telah membantu selama pengumpulan data. Terimakasih juga penulis sampaikan kepada Reza Tawakkal yang telah banyak membantu mengembangkan prototipe rantai pasok cerdas TBS.

Penulis menyadari draf disertasi ini masih memiliki kekurangan pada berbagai aspek sehingga penulis sangat menerima saran dan arahan untuk perbaikan karya ilmiah ini. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat dan memberikan kontribusi nyata terhadap perkembangan ilmu, khususnya pada bidang keilmuan Teknik Industri Pertanian. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2024

*Kursehi Falgenti*



## DAFTAR ISI

RINGKASAN	ii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR ISTILAH	xx
<b>I. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	6
1.6 Kebaruan	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>7</b>
2.1 Agroindustri Kelapa Sawit Indonesia	7
2.2 Rantai Pasok	11
2.3 Rantai Pasok Tandan Buah Segar Petani Swadaya	12
2.4 Kebun Sawit Petani Swadaya	15
2.5 Transportasi TBS	20
2.6 Transformasi Digital	26
<b>III. METODOLOGI</b>	<b>43</b>
3.1 Kerangka Pemikiran	43
3.2 Tahapan Penelitian	45
3.3 Metode Pengembangan Model	47
3.4 Tatalaksana Penelitian	60
<b>IV. ANALISIS SITUASIONAL</b>	<b>63</b>
4.1 Kondisi Objektif Petani Swadaya Sawit di Provinsi Riau	63
4.2 Pendekatan Sistem	66
<b>V. ANALISIS KEBERLANJUTAN DI KEBUN SAWIT PETANI SWADAYA</b>	<b>73</b>
5.1 Variabel dan Parameter Keberlanjutan	73
5.2 Analisis Kesenjangan	75
<b>VI. MODEL KLASSTER IMPLEMENTASI KEBERLANJUTAN KEBUN</b>	<b>80</b>
6.1 Menemukan Klaster Dengan Nilai Centroid Terkecil pada Tiga Dimensi	80
6.2 Hasil Pengelompokan Tingkat Implementasi Keberlanjutan Kebun	81
<b>VII. MODEL PENJADWALAN TIMBANG TRUK TBS</b>	<b>83</b>
7.1 Terminal Appointment System (TAS)	83

7.2 Aturan BAS	84
VIII. MODEL SEGREGASI DAN PRIORITAS TIMBANG	86
8.1 Variabel Input dan Output	86
8.2 Keanggotaan Fuzzy	87
8.3 Skenario Transportasi TBS dan Produksi CPO yang Dapat Ditelusuri	90
IX. LAYANAN <i>OFFCHAIN</i> DAN <i>ONCHAIN</i> SISTEM RANTAI PASOK CERDAS TBS PETANI SWADAYA	94
9.1 Layanan Offchain	94
9.2 Layanan Onchain	121
9.3 Implementasi Teknologi AI dan Blockchain	128
9.4 Verifikasi dan Validasi	130
X. PEMBAHASAN UMUM	132
10.1 Analisis Implementasi Keberlanjutan di Kebun-kebun Sawit dan Petani Swadaya	132
10.2 Model Klaster Implementasi Keberlanjutan Kebun Sawit Swadaya	132
10.3 Model Penjadwalan Timbang Truk TBS	133
10.4 Model Segregasi dan Prioritas Timbang	135
10.5 Layanan <i>Onchain</i> dan Layanan <i>Offchain</i> Sistem Rantai Pasok Cerdas	136
10.6 Arsitektur Lapisan Sistem Rantai Pasok Cerdas TBS Petani Swadaya	139
10.7 Implikasi Manejerial	140
10.8 Kontribusi dan Keterbatasan Penelitian	142
XI. SIMPULAN DAN SARAN	145
11.1 Simpulan	145
11.2 Saran	146
DAFTAR PUSTAKA	148
LAMPIRAN	164