

PERANCANGAN SISTEM PENCATATAN *SUSTAINABLE AVIATION FUEL (SAF)* BERBASIS *BLOCKCHAIN* DENGAN OTOMATISASI *MASS BALANCE* DAN *SUSTAINABILITY VALUE*

MUHAMMAD ZAIDAN SIGIT SAPUTRA



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Perancangan Sistem Pencatatan *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) Berbasis *Blockchain* dengan Otomatisasi *Mass Balance* dan *Sustainability Value*” 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 tugas akhir ini.

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

Bogor, Juni 2026

Muhammad Zaidan Sigit Saputra
F3401221048



ABSTRAK

MUHAMMAD ZAIDAN SIGIT SAPUTRA. Perancangan Sistem Pencatatan *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) Berbasis *Blockchain* dengan Otomatisasi *Mass Balance* dan *Sustainability Value*. Dibimbing oleh ILLAH SAILAH dan YANDRA ARKEMAN.

Pencampuran *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) dengan *Conventional Aviation Fuel* pada rantai pasok menyebabkan atribut keberlanjutan SAF tidak dapat ditelusuri secara fisik sehingga diperlukan pendekatan pencatatan *mass balance*. Pencatatan *mass balance* di PT Pertamina Patra Niaga saat ini masih dilakukan secara manual sehingga rentan *human error*, kondisi *co-mingling multi-batch*, dan tidak memiliki mekanisme pencatatan yang *immutable*. Penelitian ini bertujuan merumuskan model matematis *mass balance* pada lima tahap rantai pasok SAF beserta validasinya melalui simulasi numerik, merancang algoritma alokasi *First In First Out* (FIFO) untuk *co-mingling multi-batch*, merumuskan algoritma *sustainability value* berbasis metodologi *Well-to-Wake* (WTW), serta mengimplementasikan seluruh algoritma pada modul *backend* yang terintegrasi dengan jaringan *blockchain permissioned Hyperledger Fabric* melalui fungsi *chaincode* sebagai lapisan pencatatan akhir yang *immutable*. Penelitian menggunakan pendekatan desain keteknikan meliputi fase eksplorasi, pendefinisian data, ideasi, pengembangan prototipe, dan validasi. Simulasi numerik terhadap dua *batch* berbeda volume menunjukkan propagasi volume dan distribusi *losses* konsisten dengan formulasi yang dirancang, termasuk pada kondisi akumulasi dua *batch* dalam satu tangki terminal. Arsitektur sistem menerapkan empat lapisan dengan pola *on-chain/off-chain* serta kendali akses berbasis peran melalui identitas X.509. Validasi melalui *Black Box Testing* terhadap 11 skenario menunjukkan tingkat kesesuaian 100% menggunakan Postman, dengan persentase pengurangan emisi pada dua kombinasi *feedstock-pathway* melampaui ambang batas minimum CORSIA sebesar 10%. Hasil ini menunjukkan algoritma otomatisasi *mass balance* dan *sustainability value* berbasis *blockchain* mampu menggantikan pencatatan manual dengan akurasi dan ketertelusuran lebih tinggi, meskipun pengujian masih pada tahap prototipe menggunakan data simulasi.

Kata kunci: *Blockchain*, *mass balance*, SAF, *traceability*



ABSTRACT

MUHAMMAD ZAIDAN SIGIT SAPUTRA. Design of a Blockchain-Based Sustainable Aviation Fuel (SAF) Recording System with Mass Balance and Sustainability Value Automation. Supervised by ILLAH SAILAH and YANDRA ARKEMAN.

The blending of Sustainable Aviation Fuel (SAF) with Conventional Aviation Fuel in the supply chain causes SAF attributes to be physically untraceable, necessitating a mass balance recording approach. Mass balance recording at PT Pertamina Patra Niaga is currently still done manually, making it prone to human error, multi-batch co-mingling conditions, and lacking an immutable recording mechanism. This study aims to establish a mathematical model of mass balance at five stages of the SAF supply chain and validate it through numerical simulations, design a First In First Out (FIFO) allocation algorithm to combine multi-batches, design a value sustainability algorithm based on the Well-to-Wake (WTW) methodology, and implement all algorithms in a backend module integrated with the Hyperledger Fabric permissioned blockchain network through chaincode functions as an immutable final layer. The study uses an engineering design approach including the stages of exploration, data definition, ideation, prototype development, and validation. Numerical simulations of two batches of different volumes show that the propagation volume and loss distribution are consistent with the designed formulation, including the condition of the accumulation of two batches in one terminal tank. The system architecture implements four layers with an on-chain/off-chain pattern and role-based access control through X.509 identities. Validation through Black Box Testing of 11 scenarios showed a 100% compliance rate using Postman, with emission reductions in two feedstock-pathway combinations exceeding the CORSIA minimum limit of 10%. These results demonstrate that the blockchain-based mass balance automation and sustainability value algorithm can replace manual record-keeping with higher accuracy and traceability, although testing is still at the prototype stage using simulated data.

Keywords: Blockchain, mass balance, SAF, traceability



@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 milik IPB, tahun 2026¹
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.

PERANCANGAN SISTEM PENCATATAN *SUSTAINABLE AVIATION FUEL* (SAF) BERBASIS *BLOCKCHAIN* DENGAN OTOMATISASI *MASS BALANCE* DAN *SUSTAINABILITY VALUE*

MUHAMMAD ZAIDAN SIGIT SAPUTRA

Tugas Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Farah Fahma, S.T.P., M.T.
2. Prof. Dr. Ir. Hartrisari Hardjomidjojo, D.E.A.



Judul Tugas Akhir : Perancangan Sistem Pencatatan *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) Berbasis *Blockchain* dengan Otomatisasi *Mass Balance* dan *Sustainability Value*

Nama : Muhammad Zaidan Sigit Saputra
NIM : F3401221048

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Illah Sailah, M.S.
NIP 195805211982112001

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Yandra Arkeman, M.Eng.
NIP 196509141990021001

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Ono Suparno, S.T.P., M.T.
NIP 197212031997021001

Tanggal Ujian:
8 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari sampai Juni 2026 ini berjudul “Perancangan Sistem Pencatatan *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) Berbasis *Blockchain* dengan Otomatisasi *Mass Balance* dan *Sustainability Value*”. Penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah Sigit Widiyatno, Ibu Murni Dakwati, Kakak Claudia Sulfitania, dan Kakak Farah Salsabila yang selalu menjadi rumah bagi penulis, yang tidak pernah berhenti memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan semangat dalam setiap langkah penulis hingga dapat menyelesaikan pendidikan ini.
2. Prof. Dr. Ir. Illah Sailah, M.S., Prof. Dr. Ir. Yandra Arkeman, M.Eng., Prof. Dr. Ir. Erliza Hambali, M.Si., dan Prof. Dr. Farah Fahma, S.T.P., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, dukungan, serta masukan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen, Tendik, Teknisi, Laboran serta staf UPT Departemen TIN yang telah membantu dalam selama menjalani Pendidikan di IPB.
4. Hanifa Husna Sabila, Zakiatu Shabrina, dan Elmanda Romaito Sihalohe selaku teman seperjuangan dalam satu proyek penelitian dan satu bimbingan yang telah menemani proses penelitian, berdiskusi, saling membantu selama penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
5. Perdana, Fadhlhan, Fareza, Inaya, Nurul, Vanya, Bian, Cecil, Rionaldy, Romeo, Made, Prapayat, teman HRD, TIN 59, serta seluruh teman penulis yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kebersamaan.
6. Hani Rachmandani selaku *partner* yang selalu menemani, mendengarkan, mengapresiasi, memberikan semangat dan perhatian kepada penulis dalam menghadapi setiap proses.
7. Semua pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian tugas akhir ini.

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

Bogor, Juni 2026

Muhammad Zaidan Sigit Saputra



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Sustainable Aviation Fuel (SAF)</i>	4
2.2 Skema Sertifikasi dan Standar Keberlanjutan SAF	4
2.3 Metode Pencatatan <i>Mass Balance</i>	5
2.4 Teknologi <i>Blockchain</i> untuk Ketertelusuran Rantai Pasok	5
2.5 <i>Hyperledger Fabric</i> dan <i>Smart Contract</i>	6
III METODE	7
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Lingkungan Pengembangan Sistem	7
3.3 Tahapan Desain Keteknikan	8
3.4 Pengumpulan Data	10
3.5 Pengolahan dan Analisis Data	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1 Analisis Kebutuhan Algoritma <i>Mass Balance</i>	12
4.2 Perancangan Model Matematis <i>Mass Balance</i> per Tahap	13
4.3 Algoritma Alokasi FIFO untuk Kondisi <i>Multi-Batch</i>	21
4.4 Algoritma Perhitungan <i>Sustainability Value</i>	23
4.5 Perancangan Sistem Pencatatan Berbasis <i>Blockchain</i>	25
4.6 Pengujian dan Validasi Algoritma	34
V SIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Simpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	41
RIWAYAT HIDUP	63



DAFTAR TABEL

1	Nama perangkat keras yang digunakan	7
2	Nama perangkat lunak yang digunakan	7
3	Rincian pengumpulan data	10
4	Kebutuhan variabel dan perhitungan pada setiap tahap <i>mass balance</i>	12
5	Perbandingan alternatif solusi sistem	25
6	Skenario dan hasil pengujian algoritma <i>mass balance</i>	34

DAFTAR GAMBAR

1	Tahapan desain keteknikan	8
2	Alur pencatatan <i>mass balance</i>	13
3	Simulasi <i>mass balance</i> tahap <i>production</i> dan <i>loading</i>	18
4	Simulasi <i>mass balance</i> tahap <i>shipping</i>	19
5	Simulasi <i>mass balance</i> tahap terminal	19
6	Simulasi <i>mass balance</i> tahap <i>production</i> hingga terminal	20
7	Diagram alir algoritma alokasi FIFO tahap <i>fueling</i>	22
8	Lapisan arsitektur sistem pencatatan berbasis <i>blockchain</i>	27
9	Alur <i>pseudocode</i> fungsi <i>RecordFueling</i>	31
10	Diagram keterkaitan antar algoritma	33

DAFTAR LAMPIRAN

1	Kode implementasi perhitungan <i>mass balance</i> pada <i>backend</i>	42
2	Kode <i>smart contract (chaincode)</i> untuk <i>mass balance</i>	55
3	Dokumentasi pengujian <i>Black-Box Testing</i> menggunakan <i>Postman</i>	57