

- 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.

MODEL SPASIAL DEFORESTASI DALAM RANTAI PASOK KOMODITAS KELAPA SAWIT DI KAWASAN EKOSISTEM LEUSER

IHWAN RAFINA



**ILMU DAN PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

@Hak cipta milik IPB University

Saya menyatakan bahwa tesis berjudul “Model Spasial Deforestasi dalam Rantai Pasok Komoditas Kelapa Sawit di Kawasan Ekosistem Leuser” merupakan hasil karya orisinal saya sendiri dengan bimbingan dari dosen pembimbing, dan belum pernah diajukan sebagai syarat akademik di institusi pendidikan mana pun. Segala kutipan dari sumber lain, baik yang diterbitkan maupun tidak, telah dicantumkan dan disebutkan dalam daftar pustaka pada bagian akhir tesis ini.

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

Bogor, April 2025



Digitally signed by:
Ihwan Rafina

Date: 25 Apr 2025 00:08:59 WIB
Verify at: dsigns.ipb.ac.id

Ihwan Rafina
P0502211028

- 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.

RINGKASAN

IHWAN RAFINA. Model Spasial Deforestasi dalam Rantai Pasok Komoditas Kelapa Sawit di Kawasan Ekosistem Leuser. Dibimbing oleh LILIK BUDI PRASETYO dan HERRY PURNOMO.

Kawasan Ekosistem Leuser (KEL) merupakan salah satu kawasan tropis paling vital di dunia yang terletak di Provinsi Aceh dan Sumatra Utara, Indonesia. Kawasan ini mencakup lebih dari 2,6 juta hektare hutan hujan dan merupakan habitat bagi spesies kunci seperti orangutan, gajah, harimau, dan badak Sumatra. Selain itu, KEL menyimpan ekosistem gambut yang kaya karbon serta memberikan layanan ekosistem penting seperti penyimpanan karbon dan suplai air bersih. Namun, dalam dua dekade terakhir, KEL menghadapi tekanan yang kian meningkat akibat aktivitas antropogenik, terutama ekspansi perkebunan kelapa sawit yang menyebabkan deforestasi secara masif. Meskipun pemerintah telah menerapkan berbagai kebijakan seperti moratorium izin baru di kawasan hutan dan lahan gambut, laju konversi lahan terus terjadi. Kebijakan global seperti European Union Deforestation Regulation (EUDR) dan berbagai komitmen keberlanjutan dari sektor swasta pun belum cukup untuk menahan laju kehilangan hutan di kawasan ini.

Kompleksitas rantai pasok kelapa sawit yang melibatkan berbagai aktor dari petani kecil hingga perusahaan besar menciptakan tantangan tersendiri dalam upaya konservasi dan keterlacakan sumber bahan baku. Ketidakjelasan asal-usul tandan buah segar (TBS), terutama dari petani swadaya yang tidak terdokumentasi secara spasial, menjadikan verifikasi terhadap prinsip bebas deforestasi sulit dilakukan. Di sisi lain, sekitar sepertiga dari pabrik kelapa sawit di wilayah ini tidak memiliki kebun inti, sehingga sangat bergantung pada pasokan dari petani kecil. Ketergantungan ini memperbesar risiko masuknya bahan baku dari kawasan berhutan ke dalam rantai pasok, yang dapat melemahkan klaim keberlanjutan dan kepatuhan terhadap regulasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model spasial deforestasi dalam kaitannya dengan ekspansi perkebunan kelapa sawit di KEL dan menganalisis keterkaitannya dengan struktur rantai pasok serta kebijakan bebas deforestasi. Secara khusus, studi ini mengevaluasi perubahan tutupan lahan tahun 2016–2024, kesesuaian lahan sawit terhadap kebijakan tata ruang dan moratorium, memprediksi konversi hutan hingga 2032, mengkaji struktur dan risiko rantai pasok sawit, serta mengidentifikasi isu strategis pengelolaan kawasan berdasarkan persepsi para pemangku kepentingan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini bersifat integratif dan berbasis spasial. Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan dengan pendekatan *Systematic Error Quantification (SEQ)* menggunakan citra satelit dari Sentinel-1, Landsat-8, dan MODIS di platform Google Earth Engine. Model prediktif konversi lahan dibangun menggunakan metode *Cellular Automata (CA)* melalui plugin MOLUSCE di QGIS. Analisis rantai pasok dilakukan dengan pendekatan SEI-PCS yang menghubungkan lokasi kebun, pabrik, dan jalur distribusi. Sementara itu, survei persepsi isu strategis dilakukan menggunakan kuisioner yang dianalisis dengan *Weighted Score Model (WSM)*.



Hasil analisis perubahan tutupan lahan menunjukkan bahwa antara 2016 hingga 2024, perkebunan sawit di KEL meningkat dari 34.956 hektare menjadi 117.112 hektare. Perluasan ini terutama terjadi di wilayah dengan aksesibilitas tinggi seperti dekat jalan dan pemukiman. Analisis spasial menunjukkan bahwa sekitar 41.012 hektare dari ekspansi sawit tersebut menggantikan hutan alami, menandakan dampak deforestasi yang signifikan.

Evaluasi terhadap kebijakan moratorium dan tata ruang menunjukkan bahwa sebagian besar ekspansi sawit berlangsung di area yang masuk dalam peta moratorium atau kawasan lindung dan konservasi. Hal ini mencerminkan lemahnya pengawasan dan pelaksanaan kebijakan di lapangan, serta membuka celah terhadap praktik konversi lahan yang tidak sah.

Model prediksi spasial deforestasi hingga tahun 2032 menunjukkan bahwa jika tren saat ini berlanjut, luas perkebunan sawit di KEL akan mencapai 176.387 hektare, meningkat lebih dari lima kali lipat dibandingkan tahun 2016. Peta risiko deforestasi mengidentifikasi zona kritis di sekitar pabrik dan infrastruktur transportasi sebagai area prioritas pengawasan dan intervensi.

Analisis rantai pasok mengungkap bahwa sebagian besar pabrik di wilayah ini bergantung pada pasokan dari petani swadaya, dan kurangnya dokumentasi spasial membuat proses keterlacakan menjadi lemah. Sistem sertifikasi seperti RSPO belum mampu menjangkau seluruh rantai pasok, terutama di tingkat hulu yang informal.

Survei terhadap para pemangku kepentingan menunjukkan bahwa isu paling mendesak dalam pengelolaan KEL adalah lemahnya penegakan hukum, ketidaksesuaian tata ruang, serta rendahnya pelibatan masyarakat dalam konservasi. Responden juga menekankan pentingnya kolaborasi antar sektor dan penguatan peran lokal dalam menjaga kelestarian kawasan.

Sebagai kesimpulan, penelitian ini menegaskan bahwa KEL berada dalam kondisi genting akibat tekanan deforestasi dari ekspansi kelapa sawit. Diperlukan intervensi berbasis spasial yang akurat, penguatan sistem keterlacakan rantai pasok, serta pelibatan pemangku kepentingan dalam strategi konservasi. Penelitian ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk perumusan kebijakan tata ruang dan keberlanjutan, sekaligus menjadi rujukan bagi implementasi komitmen bebas deforestasi di sektor sawit Indonesia.

Kata kunci: *Cellular Automata*, deforestasi, ekosistem Leuser, kelapa sawit

SUMMARY

IHWAN RAFINA. Spatial Model of Deforestation in the Palm Oil Commodity Supply Chain within the Leuser Ecosystem. Supervised by LILIK BUDI PRASETYO and HERRY PURNOMO.

The Leuser Ecosystem (KEL), located in the provinces of Aceh and North Sumatra, is one of the world's most vital tropical rainforest landscapes. Spanning more than 2.6 million hectares, this ecosystem serves as a critical habitat for endangered species such as Sumatran orangutans, tigers, elephants, and rhinos. It also plays a fundamental role in ecosystem services such as carbon storage and water supply. Despite its ecological importance, KEL has faced increasing pressure over the past two decades, especially from the expansion of oil palm plantations which has become a major driver of deforestation. Although Indonesia has adopted policies like the moratorium on new plantation permits in forest and peatland areas, land conversion continues at an alarming rate. Meanwhile, global frameworks such as the European Union Deforestation Regulation (EUDR) and corporate sustainability commitments have yet to adequately curb forest loss in this region.

The palm oil supply chain is highly complex, involving various actors from independent smallholders to multinational corporations. This complexity creates challenges in forest conservation and traceability of raw materials. A large share of fresh fruit bunches (FFB) comes from smallholder farms that are often undocumented spatially, making it difficult to verify deforestation-free claims. Furthermore, many palm oil mills in the region operate without nucleus plantations and thus rely heavily on third-party supplies, increasing the risk of deforestation-linked commodities entering supply chains and undermining sustainability claims.

This study aims to develop a spatial model of deforestation in relation to oil palm expansion in the Leuser Ecosystem and assess its linkage with supply chain structures and deforestation-free policies. Specifically, the study analyzes land cover change from 2016 to 2024, evaluates land use compliance with spatial plans and moratorium policies, forecasts forest conversion up to 2032, assesses supply chain traceability, and identifies key strategic issues in KEL management based on stakeholder perspectives.

The research adopts an integrative and spatially based methodology. Land cover change was analyzed using the Systematic Error Quantification (SEQ) approach on satellite imagery from Sentinel-1, Landsat-8, and MODIS through the Google Earth Engine platform. The predictive land conversion model was developed using Cellular Automata (CA) via the MOLUSCE plugin in QGIS. The supply chain was analyzed using the SEI-PCS (Spatially Explicit Information on Production to Consumption Systems) framework. Meanwhile, stakeholder perceptions were captured through questionnaires and analyzed using the Weighted Score Model (WSM).

The land cover analysis revealed a significant increase in palm oil plantations in KEL, growing from 34,956 hectares in 2016 to 117,112 hectares in 2024. Much of this expansion occurred in accessible areas near roads and settlements. Alarming, 41,012 hectares of this growth replaced natural forest, highlighting the ongoing deforestation crisis in the region.



Evaluation of land suitability and policy compliance showed that a large proportion of oil palm expansion occurred within areas designated under the moratorium or classified as protected and conservation zones. This indicates weak enforcement and regulatory loopholes that permit unauthorized land conversions.

The spatial model predicts that if current trends continue, palm oil plantations in KEL will reach 176,387 hectares by 2032—over five times their 2016 extent. The risk maps identified critical zones near mills and infrastructure as priority areas for monitoring and intervention.

The supply chain analysis revealed that most mills depend on smallholder farmers, with limited spatial documentation, undermining traceability efforts. Certification schemes like RSPO are not yet comprehensive enough to ensure full traceability, particularly in upstream segments involving informal actors.

Stakeholder surveys revealed that the most pressing issues in KEL management include weak law enforcement, spatial planning violations, and inadequate community engagement in conservation efforts. Respondents also emphasized the need for cross-sector collaboration and stronger local participation in governance.

In conclusion, the Leuser Ecosystem is at a critical tipping point due to oil palm-driven deforestation. Immediate interventions are required, including spatially informed policies, stronger supply chain transparency, and inclusive conservation strategies. This research provides a scientific foundation for landscape-level planning and sustainable supply chain practices, and it supports the implementation of deforestation-free commitments within Indonesia's palm oil industry.

Keywords: cellular automata, deforestation, Leuser ecosystem, oil palm



Judul Tesis : Model Spasial Deforestasi dalam Rantai Pasok
Komoditas Kelapa Sawit di Kawasan Ekosistem
Leuser
Nama Mahasiswa : Ihwan Rafina
NIM : P0502211028

Disetujui oleh:

Pembimbing I:
Prof. Dr. Ir. Lilik Budi Prasetyo, M.Sc



Pembimbing II:
Prof. Dr. Ir. Herry Purnomo, M.Comp



Diketahui oleh:

Ketua Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumber Daya
Alam dan Lingkungan:
Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, M.S
NIP 19591106 198501 1 001



Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr.Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc. F.Trop
NIP 19700329 199608 1 001



Tanggal Ujian
(22 April 2025)

Tanggal Lulus
(tanggal tanda tangan
dekan/jurusan)



PRAKATA

Penulis menyampaikan rasa syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan pertolongan-Nya sehingga karya ilmiah ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam ditujukan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah mewariskan ilmu pengetahuan melalui Al-Qur'an dan Sunnah. Semoga warisan tersebut terus memberi manfaat dalam kehidupan dunia dan akhirat. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2022 sampai bulan Desember 2024 ini adalah Model Spasial Deforestasi dalam Rantai Pasok Komoditas Kelapa Sawit di Kawasan Ekosistem Leuser.

Dalam proses penyusunan tesis ini, penulis memperoleh dukungan dari berbagai pihak yang sangat berarti, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lilik Budi Prasetyo, M.Sc dan Prof. Dr. Ir. Herry Purnomo, M.Comp selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu, membimbing, dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini,
2. Seluruh dosen dan staf program studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan atas ilmu, pengalaman, dan bimbingan selama menempuh pendidikan,
3. Istri terkasih Christina Mega dan anakku tersayang atas dukungan dan doanya,
4. Orang tua dan kakak serta keluarga besar atas doa-doanya,
5. Manajemen dan rekan kerja di Yayasan Earthqualizer yang mendukung studi penulis,
6. Teman-teman seperjuangan program studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Sekolah Pascasarjana angkatan 2021 yang telah banyak membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tesis ini, dan
7. Kepada semua pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Semoga penelitian ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan

Bogor, April 2025
Hormat Saya



Ihwan Rafina
P0502211028

DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Kerangka Pemikiran	3
1.4 Manfaat	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kawasan Ekosistem Leuser	6
2.2 Pemetaan dan permodelan spasial	6
2.3 Komoditas Kelapa Sawit	8
2.4 Rantai pasok komoditas kelapa sawit	9
2.5 Kebijakan moratorium kelapa sawit	9
2.6 Deforestasi	10
2.7 Komitmen sawit bebas deforestasi	10
BAB III. METODE PENELITIAN	12
3.1 Tempat dan Waktu penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	12
3.3 Jenis Data yang Dikumpulkan	13
3.4 Tahapan Penelitian	13
3.5 Metode Pengolahan Data	14
3.6 Analisis Data Penelitian	16
3.7 Verifikasi lapangan	26
BAB IV. HASIL PENELITIAN	27
4.1 Kondisi Umum Kawasan Ekosistem Leuser	27
4.2 Analisis Penutupan Lahan KEL (2016, 2020 dan 2024)	38
4.3 Kesesuaian lahan perkebunan sawit di KEL dengan arahan kebijakan moratorium kelapa sawit dan peruntukan kawasan lindung dan konservasi.	48
4.4 Analisis permodelan spasial perubahan lahan di KEL dengan metode analisis Cellular Automata	57
4.5 Analisis tata usaha rantai pasok kelapa sawit dari pabrik pengolahan ke perkebunan	68
4.6 Analisis pemeringkatan isu-isu strategis pengelolaan KEL berdasarkan hasil survey yang dilakukan kepada para pihak	77
4.7 Verifikasi lapangan	83
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	87
5.1 Simpulan	87
5.1 Saran dan rekomendasi	88
DAFTAR PUSTAKA	90